



Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Treball de Fi de Grau

Memòria

Auto proveïment energètic del circuit de Castellolí

Autor: Eduard Mayor Candela

Director: Emilio Hernández Chiva

Barcelona, Juny 2018

Resum

Aquest Treball de Fi de Grau té la finalitat de plantejar una possible solució energèticament sostenible per la instal·lació del circuit Parcmotor Castellolí. L'objectiu consisteix en que el circuit esmentat pugui auto-proveir-se energèticament, és a dir, que no tingui la necessitat d'estar connectat a la xarxa elèctrica. L'opció que es planteja en aquest projecte, per tant, radica en una solució mitjançant un parc solar fotovoltaic amb un subsistema d'acumulació d'energia (bateries) per tal de poder cobrir la demanda del circuit en hores o inclús dies en que la radiació solar no sigui suficient.

Aquest tipus de sistemes de generació d'energia elèctrica estan compostos per diversos components: la generació (mòduls fotovoltaics), l'acumulació (bateries), la regulació (regulador de càrrega) i, finalment, la distribució i el consum (inversors DC / AC).

L'element principal d'aquest sistema és la generació, és a dir, els mòduls fotovoltaics. Són l'element que ha de garantir la producció d'energia elèctrica. En un anàlisi més detallat, es pot observar que poden estar fabricats de diversos materials. Els més comuns són els panells fotovoltaics creats a partir de compostos de silici dopats amb algun altre material (ja sigui silici monocristal·lí amb un major rendiment però més cars, o silici policristal·lí, una opció més econòmica), tot i que també existeixen els panells de tecnologia Thin film (capa fina), els quals tenen una vida útil i capacitat de generació d'energia molt més reduïdes, però també presenten un estalvi econòmic considerable respecte els altres.

Per tal de dimensionar correctament l'envergadura del parc fotovoltaic, es calcula la radiació solar disponible durant l'any en la zona del circuit. D'aquesta manera s'ha definit el nombre de mòduls necessaris, així com també la quantitat i tipus de bateries que seran necessàries. Finalment, s'ha dut a terme un càlcul de la producció energètica anual, i s'ha decidit que l'opció més adient des d'un punt de vista tant econòmic com ecològic és l'opció B.

Des d'un punt de vista econòmic, però, ambdues opcions resulten molt costoses pel circuit amb una elevada inversió inicial. Si es pogués vendre l'energia a la xarxa elèctrica i no es tractés únicament d'un sistema autònom, aleshores al cap dels anys podria arribar a obtenir-se un benefici econòmic amb la implementació d'aquesta opció.



1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. OBJECTIU DEL PROJECTE	3
1.2. ABAST DEL TREBALL	4
1.3. CONFLICTE A RESOLDRE	4
1.4. DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ	5
2. ESTUDI DEL PARC SOLAR FOTOVOLTAIC	8
2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	8
2.2. CAPTACIÓ	11
2.2.1. <i>Tipus de plaques fotovoltaïques</i>	13
2.3. ACUMULACIÓ	16
2.4. REGULACIÓ	20
2.5. DISTRIBUCIÓ I CONSUM	23
3. CÀLCUL ENERGÈTIC	29
3.1. CÀLCUL DELS CONSUMS ESTIMATS	31
3.2. RADIACIÓ SOLAR DISPONIBLE	32
3.3. DIMENSIONAMENT DELS MÒDULS FOTOVOLTAICS	40
3.4. DIMENSIONAMENT DE L'ACUMULADOR	45
3.5. DIMENSIONAMENT DEL REGULADOR I DE L'INVERSOR	46
3.6. CARACTERÍSTIQUES FINALS	47
3.7. CÀLCUL DE LA PRODUCCIÓ ANUAL	49
4. ESTUDI ECONÒMIC	54
4.1. CÀLCUL TIR I VAN	54
5. IMPACTE AMBIENTAL	59
6. DIAGRAMA DE GANTT	64
7. CONCLUSIONS	65
8. ACCIONS FUTURES	67
9. AGRAÏMENTS	68
10. BIBLIOGRAFIA	69



1. Introducció

1.1. Objectiu del projecte

Aquest projecte es centra en plantejar una proposta d'autosuficiència energètica del circuit de Castellolí, per tal de cobrir les seves necessitats tecnològiques actuals degut a un possible increment en la demanda energètica que pugués existir en un futur.

Aquesta proposta d'auto-proveïment energètic passa per una solució mitjançant la generació d'energia a través d'un parc solar fotovoltaic no connectat a la xarxa elèctrica, és a dir, autònom o aïllat. Es durà a terme un estudi de la viabilitat econòmica de diferents propostes amb plaques fotovoltaïques per acabar determinant si és econòmicament sostenible i quina d'aquestes opcions és la més adient per a la seva implantació final.

Per tal d'analitzar quines són les diverses alternatives que es poden contemplar com a solució final, es realitzarà un dimensionament dels diversos subsistemes que composaran la instal·lació, per saber quines característiques tècniques es requereixen dels diversos components (subsistema generador, acumulador, regulador i la distribució i consum, és a dir, l'inversor).

L'estudi energètic corresponent vindrà realitzat a través de l'ajuda d'un programari d'internet gratuït anomenat PVGIS. A través d'aquesta plataforma es calcularà, amb l'ajuda de càlculs externs, la irradiació solar en la ubicació desitjada (localitat de Castellolí), el grau d'inclinació òptim dels mòduls fotovoltaïcs en funció del terra i de l'època de l'any i l'estalvi econòmic pertinent, juntament amb la reducció d'emissions de diòxid de carboni degudes a l'energia renovable instal·lada.

Finalment, també es vol analitzar l'impacte ambiental que tenen les tecnologies fotovoltaïques en general, des de la seva fase de fabricació fins a la seva implantació i l'espai que ocupen. A més, s'analitzarà l'estalvi de la contaminació que suposaria realitzar la instal·lació proposada en el circuit Parcmotor Castellolí.



1.2. Abast del treball

L'objectiu d'aquest treball passa per proposar una solució fotovoltaica, calculada i definida, pel proveïment energètic dels sistemes tecnològics del circuit de Castellolí. Per tant, aquest projecte abasta l'estudi i el disseny d'un parc solar fotovoltaic, els diferents components que el formen, així com una comparació de diverses propostes suggerides i l'elecció final de la millor solució que es podrien implementar, sense entrar en un anàlisi més detallat respecte la demanda estructural de la proposta realitzada o les seves resistències a esforços externs i/o tensions internes que es puguin generar.

Com s'ha esmentat anteriorment, aquesta solució fotovoltaica té en compte els consums del circuit Parcmotor Castellolí, els quals estan compresos per la nau industrial existent, així com les oficines que es troben dins el recinte del circuit. No es té en compte en aquest càlcul el possible increment futur del consum de la instal·lació degut al possible punt de càrrega de vehicles elèctrics, de la mateixa manera que tampoc s'entra en la consideració de la lluminària del circuit.

A més, la solució plantejada queda emmarcada dins dels parcs fotovoltaics aïllats o autònoms, no pas els parcs fotovoltaics connectats a la xarxa elèctrica; això és degut a que es busca que el circuit sigui auto suficient, i en un principi no es planteja generar un excés d'energia que s'utilitzi per vendre a l'empresa que s'encarregui de la xarxa elèctrica convencional en aquesta zona. Tampoc es tenen en compte altres formes de generació d'energia sostenible com podrien ser els parcs eòlics.

1.3. Conflicte a resoldre

El circuit Parcmotor Castellolí obre una nova etapa en que durà a terme proves per vehicles autònoms i vehicles elèctrics per a, possiblement, diverses marques de fabricació d'automòbils. Així doncs, resultaria molt atractiu pel sector de l'automoció que aquest circuit portés incorporat un sistema de càrrega de vehicles que vingués alimentat per energia neta, és a dir, una font d'energia renovable com per exemple l'energia solar fotovoltaica. A més d'ajudar a la captació d'inversions, aquesta implementació beneficiaria potencialment al medi ambient.



1.4. Descripció de la instal·lació

La instal·lació on es centra aquest treball és el circuit de Castellolí, altrament conegut com a Circuit Parcmotor Castellolí. Es tracta d'un complex dedicat al motociclisme i l'automobilisme ubicat en la localitat de Castellolí, en la província de Barcelona. El seu principal objectiu és la formació de pilots, tot i que també es duen a terme moltes altres activitats, entre les que es troben:

- Trial
- Motocross
- Karting
- Cursos de conducció segura
- Ofertes de conducció d'automòbils exclusius
- Proves de nous vehicles per les marques d'automòbils

El circuit compte amb tres àrees diferenciades:

- Àrea de trial
- Circuit de velocitat
- Circuit de motocross

Està també dotat de boxes, una nau polivalent amb funcions d'emmagatzematge i una petita clínica que ajuda a augmentar la seguretat en el circuit.

A més, avui dia una companyia de telecomunicacions equipa el circuit de Castellolí amb infraestructures i tecnologies per tal que els usuaris i clients de les instal·lacions puguin desenvolupar nous productes i serveis vinculats a la mobilitat intel·ligent i al vehicle connectat. El seu objectiu es convertir el Parcmotor Castellolí – Barcelona en un referent tecnològic amb un ecosistema integrat d'innovació en l'àmbit del vehicle autònom i del vehicle connectat. Per tant, el circuit està dotat d'una xarxa sense fils amb cobertura en tot el circuit que permet la connectivitat entre vehicles, càmeres d'alta definició pel seguiment de vehicles en pista i unitats embarcades per la transmissió de dades de telemetria, veu i vídeo, així com banda ampla i una xarxa IoT (Internet of Things).



Aquesta nova funcionalitat per la que s'està preparant actualment el Parcmotor Castellolí resulta molt interessant per aquest treball, ja que segurament va lligada amb un futur increment elevat de la demanda energètica del circuit. Degut a que el vehicle autònom i el vehicle connectat van molt lligats amb les noves tecnologies i la indústria del vehicle elèctric, el fet que aquest circuit es tractés d'un circuit autosuficient el faria més atractiu encara per aquesta nova indústria en creixement.

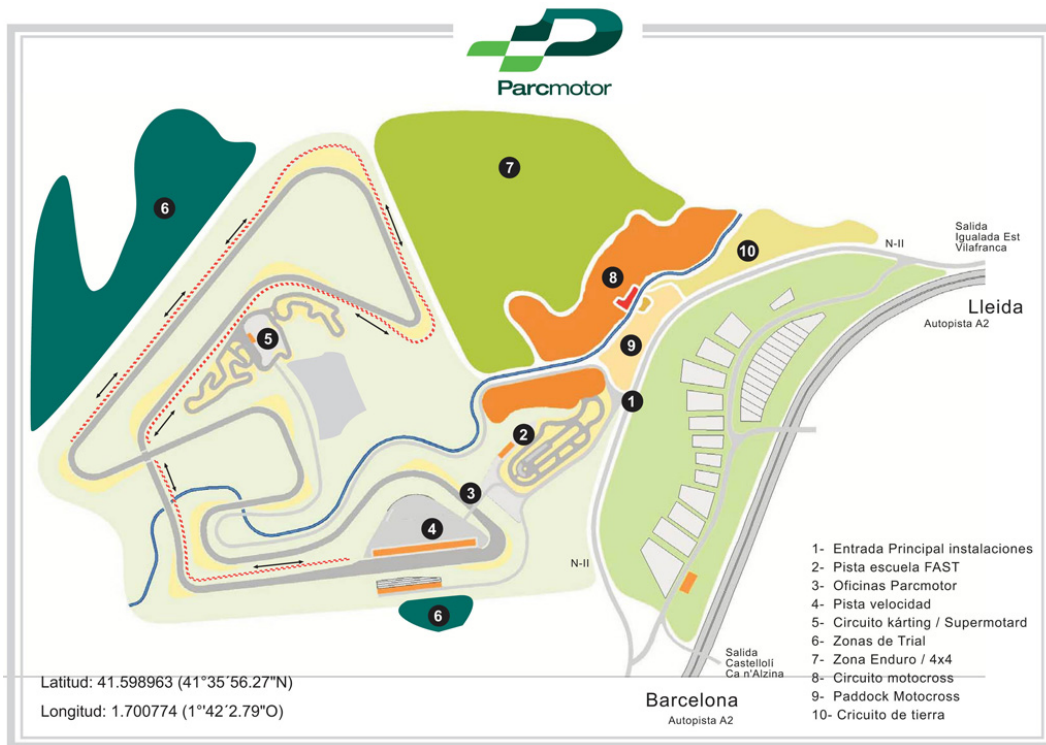


Figura 1. Distribució gràfica del circuit Parcmoto Castellolí.

En el circuit de Castellolí hi ha més d'una zona que resulten atractives des del punt de vista de la generació d'energia fotovoltaica:

Parking

El pàrquing principal consta de 3500 metres quadrats de superfície, al que se li sumen 3000 metres quadrats més del Paddock Mx. D'altra banda, els paddock 1 i 2 compten amb una superfície de 14000 metres quadrats, i ja disposen actualment de punts d'energia.



Resulta una instal·lació molt interessant degut a la facilitat de fabricació de plaques solars en sostres per a pàrquings coberts. És una mesura que cada cop es troba amb més normalitat en aparcaments a cel obert.



Figura 2. Zona d'aparcaments del circuit.

Nau polivalent

Es tracta d'una instal·lació que ocupa 680 metres quadrats, amb una alçada mínima de 4 metres. En el seu interior hi ha àrees diferenciades on es troben una zona de rentat, una zona de taller amb grup electrògen, emmagatzematge de peces d'equips de testejat i inclús una sala de conferències.

Tot i que la instal·lació de plaques solars en el seu sostre és més complicada degut a la seva ubicació, avui dia hi ha nous materials per a plaques solars (anomenades plaques thin-film) que s'empren per a façanes d'edificis. Així doncs, aquesta nau podria ajudar també a que el Parcmotor Castellolí arribés a la seva autosuficiència energètica.



2. Estudi del parc solar fotovoltaic

2.1. Energia solar fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica transforma de manera directa la llum solar en electricitat mitjançant l'efecte fotovoltaic. En incidir la radiació solar sobre una de les cares de la cèl·lula fotoelèctrica (que conformen els panells solars) es produeix una diferència de potencial elèctric entre ambdues cares que produeix el salt dels electrons, generant d'aquesta manera corrent elèctric.

En les seves etapes inicials, aquest tipus d'energia s'emprava per tal de proveir energia als satèl·lits. Va ser a la dècada dels anys cinquanta quan els panells fotovoltaics van accelerar el seu desenvolupament fins a convertir-se, en l'actualitat, en una alternativa real a l'ús de combustibles fòssils.

L'energia elèctrica generada mitjançant panells solars fotovoltaics és inexhaurible i no contamina, pel que contribueix en un desenvolupament sostenible, a més d'afavorir el desenvolupament del treball local. Així mateix, es pot aprofitar de dues maneres diferents: per una banda pot vendre's a la xarxa elèctrica, mentre que d'altra banda pot ser consumida en llocs aïllats on no existeixi una xarxa elèctrica convencional. Per aquest motiu, és un sistema particularment adequat per a zones rurals o aïllades, on el cablejat elèctric no arriba o és difícil (o costosa) la seva instal·lació. Aquest fet fa que el circuit de Castellolí sigui una potencial localització no gens desestimable per a la creació d'un parc fotovoltaic.

En els darrers anys, el cost de manteniment i instal·lació dels panells solars ha disminuït notablement, a mesura que s'ha anat desenvolupant la tecnologia fotovoltaica necessària (actualment, la vida útil mitjana dels panells solars és superior als trenta anys). Requereix d'una important inversió inicial i de petites despeses d'operació, però una vegada ja instal·lat el sistema fotovoltaic el combustible passa a ser gratuït i de per vida.

Des de la dècada dels anys 80, els panells per a generar energia elèctrica a partir del sol han anat abaratint-se un 10% anual, una tendència que capacitaria a aquesta tecnologia a assumir un 20% de les necessitats energètiques globals a l'any 2027.



Segons el “think tank” alemany **Agora Energiewende**, l’energia solar es convertirà en els propers deu anys en la font d’electricitat més barata en moltes parts del món, degut a aquesta continua caiguda del cost del panell solar.

Existeixen dos tipus diferents de sistemes fotovoltaics:

Sistemes fotovoltaics autònoms

Els sistemes fotovoltaics autònoms (SFA) estan constituïts fonamentalment pels panells fotovoltaics (els quals són el generador d’energia elèctrica), les bateries (per tal d’emmagatzemar l’energia i poder emprar-la en els moments en que la demanda sigui més elevada que la capacitat dels panells de produir energia elèctrica) i la càrrega elèctrica que es consumeix mitjançant equips elèctrics, ja siguin aquests industrials o d’ús domèstic.

Aquests sistemes autònoms s’utilitzen habitualment en ubicacions aïllades, per tal de produir electricitat en àrees inaccessibles per la xarxa elèctrica. Els SFA més senzills utilitzen l’electricitat en forma de corrent continu, i l’energia és produïda on i quan és necessària, sense necessitat de sistemes de control i transmissió d’energia gaire complexes. Sistemes amb una generació de potència del voltant de 500 W pesen menys de 70 kg, fet que permet un transport i instal·lació dels seus elements relativament senzill. L’emmagatzematge de l’energia elèctrica converteix els sistemes fotovoltaics autònoms en una font fiable d’energia, ja que els sobrants d’energia generats durant el dia poden ser emprats per la nit, en hores amb una radiació solar menor o quan la demanda és més elevada. El nombre de bateries necessari ha d’estar en correspondència amb el consum energètic de la càrrega i el nombre d’hores d’autonomia (és a dir, d’absència de radiació solar). L’ús d’aquest tipus de sistemes fotovoltaics requereix de la necessària optimització del consum energètic de les càrregues, per tant, s’ha d’adequar el consum energètic actual amb les previsions de consum de les hores en les que es pot generar menys energia (per exemple, per la nit).

L’ús de les bateries presenta algun inconvenient: el cost del sistema global augmenta, i només es pot extreure un 80% de l’energia emmagatzemada. A més, si es requereix de corrent altern per treballar, farà falta un convertidor DC/AC, que en l’actualitat transfereixen l’energia elèctrica de corrent continu a corrent altern amb una eficàcia superior al 95%.



Sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa elèctrica

Els sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa elèctrica (SFCR) constitueixen una de les aplicacions de l'energia fotovoltaica que més atenció ha rebut en els darrers anys, degut al seu elevat potencial d'utilització en zones altament urbanitzades properes a la xarxa elèctrica. Aquests sistemes estan compostos per panells solars fotovoltaics, els quals es troben connectats a la xarxa elèctrica convencional a través d'un inversor, pel que es produeix un intercanvi energètic entre la xarxa elèctrica i el sistema fotovoltaic. D'aquesta manera, el sistema proveeix energia elèctrica a la xarxa quan hi ha excedents d'energia, mentre que n'obté d'aquesta en els moments en els que el consum del sistema és més elevat o quan la producció d'energia elèctrica pel sistema fotovoltaic és baixa (quan la radiació solar és menor).

Els SFCR presenten un gran avantatge perquè no requereixen de bateries ni de reguladors de càrrega, pel que es converteixen en sistemes més barats. En canvi, els inversors sí requereixen d'unes exigències superiors, ja que han d'estar connectats en fase amb el tensió de la xarxa elèctrica. Un dels factors més favorables envers els sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa és la possibilitat de millorar la qualitat de servei de l'energia subministrada per la xarxa, procurant que la màxima producció del sistema fotovoltaic coincideixi amb les hores en que els problemes de subministrament de les companyies energètiques siguin més greus. L'energia distribuïda presenta avantatges en comparació amb la transmissió convencional que es realitza mitjançant les plantes termoelèctriques. L'energia generada per aquestes plantes és transportada a alts voltatges a través de grans distàncies fins a una càrrega distribuïdora on el voltatge es disminueix per a poder ser utilitzat, provocant així grans pèrdues energètiques. En canvi, les plantes fotovoltaiques es poden construir a prop de la demanda d'energia elèctrica i són molt més senzilles de construir, instal·lar i inclús expandir a mesura que la demanda per aquest tipus d'energia augmenta.

Comparativa global entre SFA i SFCR

En els darrers anys la utilització dels panells solars fotovoltaics en els sostres de les cases i d'edificis ha promogut considerablement l'ús d'aquest tipus d'energia degut al seu elevat potencial en zones urbanitzades properes a la xarxa elèctrica. En el 2000 es van vendre tants sistemes autònoms com sistemes connectats a la xarxa elèctrica. En canvi, en el 2006 la venda d'aquests últims va patir un increment del 83% del total^[1]. El futur ús massiu de l'energia solar fotovoltaica estarà indubtablement associat als sistemes connectats a la xarxa elèctrica.



El fort increment de les ventes dels sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa es deu essencialment a la política desenvolupada al Japó a favor de l'energia fotovoltaica i, més concretament, al seu òptim programa de sostres solars. Japó es troba entre els tres primers països en quant a generació d'energia fotovoltaica mundial^[2] i és un exemple de política energètica a imitar.

En canvi, altres països en vies de desenvolupament com ara bé la Xina, l'Índia o Cuba apunten més cap als sistemes fotovoltaics autònoms^[3].

2.2. Captació

El subsistema de captació està format per l'element més fàcilment identificable d'un sistema fotovoltaic: els panells solars o panells fotovoltaics. Un mòdul fotovoltaic és un panell solar que està format per cel·les solars, les quals s'encarreguen de transformar directament en electricitat els fotons que provenen de la llum del sol mitjançant l'efecte fotovoltaic.

Per entendre com es produeix aquest efecte a nivell atòmic, cal tenir en compte que es necessita una unió PN:

Material semiconductor extrínsec de tipus P

Es produeix en el moment d'introduir impureses en l'estructura cristal·lina d'un material semiconductor (com per exemple, el Silici), és a dir, dopar-lo. L'element que s'afegeix per tal de generar aquestes impureses ha d'estar dotat de tres electrons de valència en el seu orbital exterior. Alguns exemples són el Bor, el Gal·li o l'Indi. Els àtoms afegits generen tres enllaços covalents amb el semiconductor. Per aquest motiu, per cada àtom que s'afegeix queda un forat sense ocupar, el qual es comporta com una càrrega positiva que es mou per l'interior de la xarxa cristal·lina. Com la seva càrrega energètica és positiva, es coneixen com a semiconductors tipus P.

Material semiconductor extrínsec de tipus N

Es produeix en el moment d'introduir impureses en l'estructura cristal·lina d'un material semiconductor, és a dir, dopar-lo. Aquestes impureses seran d'un element que contingui cinc electrons a la seva última capa, per exemple el fòsfor, l'antimoni o l'arsènic. Els àtoms dopants creen quatre enllaços covalents, a més de deixar lliure un electró que es surt de la seva òrbita per tal de romandre estable. Per cada àtom de material dopant que s'afegeix, augmenta en un electró la càrrega negativa. Per aquest motiu, aquests materials es coneixen com a semiconductors tipus N.



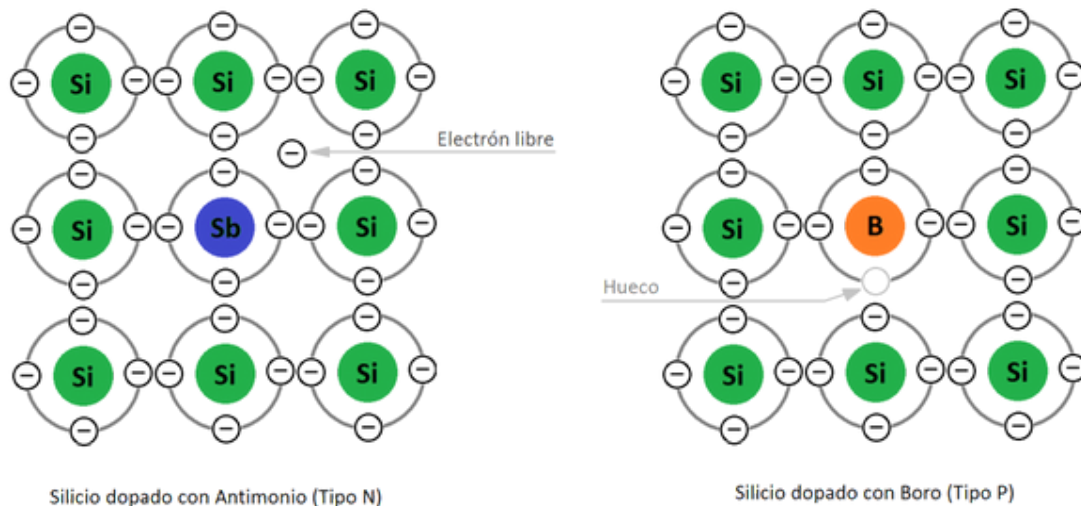


Figura 3. Exemple semiconductor tipus N (esquerra) i tipus P (dreta).

Unió dels dos semiconductors

En unir ambdós semiconductors, es produeix un efecte de difusió d'electrons de la zona negativa (semiconductor N) cap a la zona positiva (semiconductor P). El mateix cas passa amb els forats, però en la direcció contrària; aquests passen des de la zona positiva (semiconductor P) fins a la zona negativa (semiconductor N). En la zona de la unió PN es genera una zona amb càrrega neutra, ja que els forats i els electrons sobrants es compensen els uns amb els altres. D'aquesta manera, apareix una tensió entre les dues zones del material degut a la barrera de potencial existent en la zona neutra central.

Efecte fotovoltaic

Si aquest conjunt PN s'exposa a la radiació solar, l'energia dels fotons es transmet cap als electrons, fent que d'aquesta manera es trenquin els enllaços i quedin els electrons lliures, augmentant la càrrega negativa en la zona N (és a dir, augmentant la diferència de potencial). Si va incrementant-se la radiació, també incrementa en la mateixa mesura la diferència de potencial. Si es connectessin directament les dues zones P i N sense cap resistència, s'obtingria el que s'anomena corrent de curtcircuit, i els electrons podrien circular lliurement de la zona N cap a la zona P. En canvi, si es connecten en càrrega (és a dir, amb una resistència) apareix una diferència de potencial degut al corrent que circula. D'aquesta manera s'està consumint una part de l'energia de la radiació solar que incideix sobre el material.



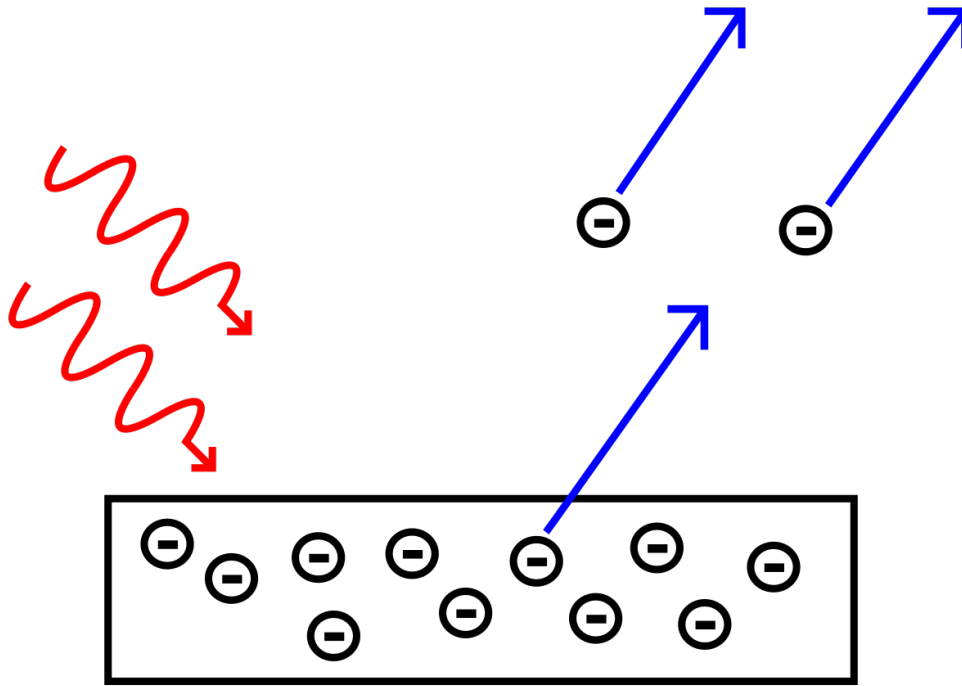


Figura 4. Explicació gràfica efecte fotoelèctric.

2.2.1. Tipus de plaques fotovoltaïques

Els elements més comunament emprats com a materials semiconductors en la indústria fotovoltaica són el silici i l'arseniür de gal·li, tot i que aquest darrer és menys comú degut al seu elevat cost. La major fabricació de silici degut a la indústria microelectrònica fa que el seu cost sigui més reduït, ja que està disponible en lingots amb mesures normalitzades. Les cel·les de silici més utilitzades en panells fotovoltaics es poden dividir en tres categories diferents en funció de la tecnologia de fabricació emprada:

Monocristal·lins

Aquest tipus de cel·les estan formades per un únic cristall de silici fos i dopat posteriorment, normalment amb bor. Es requereixen nombroses fases de cristallització per tal que es formi el monocristall. Són de tonalitats blavoses fosques, i presenten un rendiment directe d'entre un 15% i un 18%. Són els panells solars amb una vida útil més elevada; alguns fabricants inclús proposen garanties de fins a 25 anys. En condicions de baixa radiació solar (poca lluminositat) funcionen millor que no pas els panells fotovoltaics policristal·lins.



Tot i això, són els panells solars més cars; per a ús domèstic acostuma a ser més avantatjós l'ús de panells solars policristal·lins o, fins i tot, de thin-film (amorfs). A més, si els panells queden parcialment en zones ombrívols o tapats per brutícia o neu, el sistema sencer pot acabar avariant-se. Si s'empren panells solars monocristal·lins i es sospita que podrien veure's afectats per alguna ombra es recomana l'ús de micro-inversors en comptes d'inversors centralitzats o en cadena. Aquests asseguruen que no tota la instal·lació quedi malmesa si només hi ha un panell afectat. Els panells fotovoltaics monocristal·lins es fabriquen mitjançant el procés Czochralski, el qual obté com a resultat blocs cilíndrics que s'han de tallar per quatre costats posteriorment en forma de làmines de silici. És per aquest motiu que es desaprofita una elevada quantitat de material en el procés.

Policristal·lins

S'obté a partir de silici fos i dopat habitualment amb bor. Es diferencia del monocristal·lí en que el nombre de fases de cristal·lització és inferior i està per tant format per un conjunt de cristalls, no per un cristall sol. Els seu rendiment és una mica inferior (entre un 12% i un 14%). Es poden distingir diverses tonalitats de blau més intens a simple vista. La seva fabricació és més econòmica, ja que no segueix el procés Czochralski com a sistema de fabricació, sinó que es fon el silici i s'introdueix en motlles que ja tenen una forma quadrada. És per aquest motiu que són més barats que els panells fotovoltaics monocristal·lins (procés de fabricació més barat i menys desaprofitament de silici).

Malauradament, els panells solars policristal·lins també tenen alguns desavantatges. Per exemple, la seva resistència a la calor és menor que en el cas dels monocristal·lins, fet que suposa que a altes temperatures tenen un funcionament pitjor que no pas aquests altres. A més, l'excés de temperatura pot tenir un efecte negatiu en la seva vida útil, escurçant-la considerablement. La rendibilitat inferior en aquest tipus de panells solars implica a vegades que la necessitat d'espai sigui superior, cobrint una superfície major que en el cas dels monocristal·lins.

Amorfs

Són fabricats mitjançant la col·locació d'una capa fina de silici amorf (és a dir, no cristal·lí) a sobre d'una superfície, per exemple plàstic o vidre. També s'empren a vegades altres materials, com per exemple el tel·lur de cadmi (CdTe), o el coure,



indi, gal·li, seleni (CIG/CIGS); inclús n'hi ha de cèl·lules fotovoltaïques orgàniques (OPC). És el tipus més barat degut a la seva fabricació, però també el que té un rendiment més baix (en molts casos no arriba a un 10%). És la solució més emprada per aplicacions solars d'objectes com ara bé rellotges o calculadores. Es poden fabricar de manera molt senzilla i en grans quantitats. Tenen una aparença homogènia i poden ser flexibles, fet que els permet adaptar-se a molts tipus de superfícies com, per exemple, façanes. A més el seu rendiment no es veu afectat per les ombres ni per l'increment elevat de les temperatures. Es poden considerar una bona alternativa quan l'espai no és un problema.

Tot i ser molt barats, la menor eficiència dels panells fotovoltaïcs amorfs fa que aquests requereixin molt espai. Per cada metre quadrat emprat, un panell solar monocristal·lí pot produir fins a quatre vegades més electricitat que no pas un d'amorf. Per tant, la inversió en estructures metàl·liques i cablejat han de ser superiors, ja que es requereix de moltes més plaques solars per obtenir la mateixa electricitat. Finalment, els panells amorfs tendeixen a degradar-se més ràpidament, fet que ocasiona que la garantia oferta per part dels fabricants sigui molt menor.

Com es pot observar, el panell solar monocristal·lí és el que té un rendiment superior i, per tant, el més eficient. Tot i això, els panells solars policristal·lins acaben tenint una eficiència semblant, ja que a elevades temperatures el seu comportament es superior al dels monocristal·lins degut al seu coeficient tèrmic.

Tots els panells solars fotovoltaïcs consten de pols (negatiu i positiu) en la seva part posterior. Els panells fotovoltaïcs generen corrent continu, el qual s'ha de transformar posteriorment a corrent altern per tal de poder-se connectar a la xarxa o emprar amb dispositius de la llar.

Quan es té més d'un panell solar, aquests es poden connectar tant en sèrie com en paral·lel. Com és sabut, quan es connecten dos panells solars en paral·lel la intensitat final obtinguda és el doble que la intensitat que circula per cadascun dels panells solars, mentre que la diferència de potencial o el voltatge (tensió en buit) és la mateixa. D'altra banda, si els panells solars es connecten en sèrie, la tensió en buit obtinguda serà el doble que la d'un panell solar, mentre que el corrent de curtcircuit serà el mateix que si només hi hagués un panell. Es decideix emprar una solució o una altra en funció de diversos condicionants, com per exemple la magnitud de la instal·lació fotovoltaïca, l'espai disponible, la tensió de treball de les bateries (si es tracta



d'autoconsum aïllat), la tensió de sortida de l'inversor (si es tracta de grans instal·lacions), etc. El més habitual és utilitzar una solució combinada on hi hagi diverses plaques solars en sèrie unides a altres plaques solars en paral·lel, però en aquests casos han de tenir totes les mateixes característiques tècniques, és a dir, han de ser iguals.

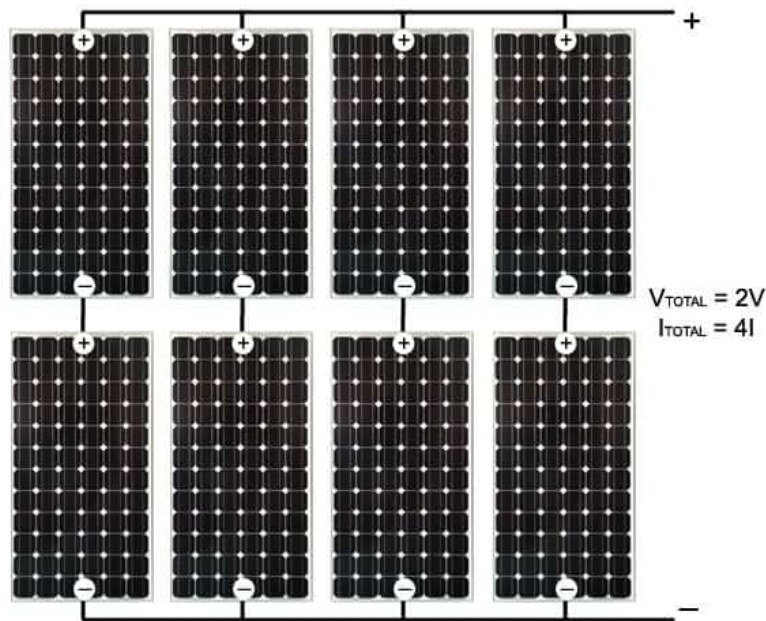


Figura 5. Connexió en sèrie i en paral·lel combinada de mòduls fotovoltaics.

2.3. Acumulació

Un acumulador electrolític (altrement conegut com a bateria) és capaç d'emmagatzemar energia elèctrica mitjançant una transformació en energia electroquímica. Les seves principals funcions són:

- **Autonomia:** Satisfà els requeriments de consum en qualsevol moment, independentment de la seva generació. La profunditat de descàrrega màxima que es sol considerar per a un cicle diari (profunditat de descàrrega màxima diària) està al voltant del 20%. Pel cas estacional, és a dir, el nombre de dies que pot estar la bateria descarregant-se sense que els mòduls fotovoltaics rebin radiació solar suficient, està compresa entre 4 i 10 dies i una profunditat de descàrrega del 70%. En les instal·lacions fotovoltaïques no es busquen



descàrregues agressives; tot el contrari, convenen descàrregues més progressives. És per aquest motiu que les bateries a emprar solen ser amb descàrregues de 100 hores (C100), doncs quan més intensa és la descàrrega de la bateria menys energia és aquesta capacitat de subministrar.

- **Subministrament de pics d'intensitat:** Quan és necessari, les bateries poden subministrar valors d'intensitat superiors als que pot arribar a proporcionar el generador fotovoltaic.
- **Estabilització del voltatge:** Evita d'aquesta manera que puguin presentar-se fluctuacions nocives pels equips de consum.

Característiques tècniques

Les característiques més importants a tenir en compte en un acumulador electrolític són les següents:

- **Profunditat de descàrrega (PD):** És el complement de l'estat de càrrega. És el valor (en tant per cent) de l'energia que s'extreu de l'acumulador plenament carregat en una sola descàrrega. Per exemple, si es té una bateria de 100 Ah i es sotmet a una descàrrega de 20 Ah, la profunditat de descàrrega serà del 20%. A partir de la profunditat de descàrrega es poden arribar a definir descàrregues superficials (menys d'un 20%) o descàrregues profundes (fins a un 80%). Ambdues poden relacionar-se amb cicles diaris i anuals. És molt important recalcar que com més profunds siguin els cicles de càrrega / descàrrega, menor serà la duració de la bateria. També cal saber que per a la majoria dels tipus de bateries un acumulador que queda completament descarregat pot quedar seriosament malmès i perdre gran part de la seva futura capacitat de càrrega.
- **Tensió de tall:** És la tensió a la que finalitza la descàrrega de l'acumulador. Depèn del règim de descàrrega i del tipus de bateria. Serveix per determinar la profunditat de descàrrega màxima (PD_{max}) i també la capacitat útil (C_u), sent aquesta última

$$C_u = PD_{max} \cdot C_{nom}$$

- **Capacitat:** És la quantitat d'electricitat que pot obtenir-se mitjançant la descàrrega total d'una bateria inicialment carregada al màxim. La capacitat d'una bateria es mesura en amper-hora (Ah) per a un determinat temps de descàrrega. Per exemple, un acumulador de 130 Ah és capaç de subministrar 130 amper en una hora o 13 amper en deu hores. Com ja s'ha comentat



anteriorment, pels acumuladors emprats en sistemes fotovoltaics és habitual referir-se a temps de descàrrega de 100 hores. També, de la mateixa manera que pels panells solars, es pot definir el voltatge de circuit obert i el voltatge de càrrega. Els acumuladors tenen un voltatge nominal que acostuma a ser 2, 6, 12 i 24 V, tot i que sempre acabi variant durant els diversos processos d'operació. El voltatge de càrrega és un terme molt important, que fa referència a la tensió necessària per a vèncer la resistència que oposa la bateria a ser carregada.

- **Auto-descàrrega:** Procés a través del qual una bateria tendeix a descarregar-se a través del temps sense estar en ús.
- **Eficiència energètica:** És el quocient entre la càrrega extreta de la bateria durant la seva descàrrega i la càrrega requerida per tal de restablir el seu estat inicial de càrrega.
- **Eficiència de càrrega:** Relació entre l'energia emprada per tal de carregar la bateria i l'energia finalment emmagatzemada. Una eficiència del 100% significaria que tota l'energia emprada per a carregar l'acumulador pot ser utilitzada posteriorment per a la seva descàrrega. Si l'eficiència de càrrega és baixa, cal dotar-se d'un nombre superior de panells fotovoltaics per realitzar les mateixes aplicacions.

Tipus de bateries

Existeixen diversos tipus de bateries, que es troben en diferents fases de desenvolupament. Algunes de les disponibles són:

- Plom - àcid (Pb-àcid)
- Zinc – Clor (Zn-Cl_2)
- Níquel – Zinc (Ni-Zn)
- Níquel – Cadmi (Ni-Cd)

De tots els bateries del mercat més del 90% corresponen a acumuladors de plom - àcid (Pb-àcid) les quals, en general i sempre que es pugui garantir el seu manteniment, són les que millors s'adapten als sistemes de generació fotovoltaica. Dins d'aquest tipus d'acumuladors es troben els de plom – calci (Pb-Ca) i les de plom – antimoni (Pb-Sb). Les bateries de Pb-Ca tenen un manteniment més limitat i una menor auto-descàrrega, mentre que les de plom – antimoni de tipus obert i tubular es deterioren menys amb la successió de cicles i presenten millors propietats per a nivells



baixos de càrrega. Aquest segon tipus d'acumuladors (Pb-Sb) poden suportar grans descàrregues i acostumen a tenir una vida mitjana d'entre 10 i 15 anys.

A vegades, les bateries que ofereix el mercat no tenen valors suficients de capacitat o de voltatge per cobrir les demandes de grans parcs de producció d'energia elèctrica autònoms, és a dir, que no estiguin connectats a la xarxa. Per tant, s'ha de tenir en compte els diversos mètodes de connexió de bateries entre si per tal de millorar les prestacions d'aquestes, ja sigui connectant-les en paral·lel, en sèrie o una mescla de les dues.

Connexió en paral·lel

La connexió en paral·lel de dos acumuladors permet l'obtenció d'una capacitat de sortida dues vegades superior a la d'un acumulador individual, però manté igual el seu voltatge nominal. Per exemple, si es té una bateria amb una tensió nominal de 24 V i una capacitat nominal de 400 Ah, si s'ajunta amb una altra bateria de les mateixes característiques s'obté un conjunt final amb una tensió nominal de 24 V (inalterada) i amb una capacitat total de 800 Ah (el doble). És molt important tenir en compte que les bateries que es connectin en paral·lel han de tenir exactament el mateix potencial per tal que no circuli tensió entre elles.

Connexió en sèrie

La connexió en sèrie de dos acumuladors suposa el cas contrari al de la connexió en paral·lel. En aquest cas, el voltatge final obtingut d'unir dues bateries en sèrie seria el doble que el d'una sola, mentre que la capacitat del conjunt és igual a l'inicial (una sola bateria). Seguint el mateix exemple anterior, tindríem un grup d'acumulació amb 48 V de tensió final, però amb una capacitat nominal de 400 Ah (inalterada respecte una única bateria).

Connexió en sèrie-paral·lel

Una altra forma de combinar-les seria la connexió tant en sèrie com en paral·lel d'un conjunt de bateries. Per tant, seguint amb les dades del primer exemple, si es connectessin dos acumuladors en paral·lel, i aquests dos es connectessin en sèrie amb dos acumuladors més (els quals estan connectats en paral·lel entre si), els valors finals del conjunt serien de 48 V i 800 Ah, és a dir, el doble de tensió nominal i de capacitat que si es tingués un sol acumulador.



2.4. Regulació

Perquè el sistema presenti un funcionament satisfactori en la unió entre les plaques fotovoltaïques amb la bateria, s'ha d'instal·lar un sistema de regulació de càrrega. Aquest sistema és sempre necessari, amb l'única excepció dels panells solars autoregulats. La funció principal i fonamental del regulador és impedir que el sistema d'acumulació segueixi rebent energia elèctrica del col·lector solar un cop ha assolit la seva càrrega màxima. Si s'intentés seguir introduint energia al sistema d'acumulació un cop aquest ja ha assolit la seva càrrega màxima, s'iniciarien en la bateria processos de gasificació (hidròlisi de l'aigua en hidrogen i oxigen) o d'escalfament, fet que pot arribar a resultar perillós o, en qualsevol cas, reduiria sensiblement la vida útil de les bateries.

Una altra funció important del sistema de regulació de càrrega és la prevenció de la sobre-descàrrega, amb la finalitat d'evitar que s'esgoti i descarregui en excés la càrrega de les bateries. Aquest fenomen podria arribar a provocar una disminució notable en la capacitat de càrrega del grup acumulador en els cicles successius. Alguns reguladors incorporen una alarma sonora o lluminosa prèvia a la desconexió per si l'usuari volgués prendre les mesures que cregués oportunes, com ara reduir el consumir, per exemple.

Els reguladors més moderns integren les funcions de prevenció de sobre-càrrega i la sobre-descàrrega en un mateix equip, el qual també subministra la informació sobre l'estat de càrrega de les bateries, la tensió existent en les mateixes. A més, estan aprovisionats de sistemes de protecció tals com fusibles, díodes, etc., ja que d'aquesta manera aconseguixen prevenir danys en els equips deguts a excessives càrregues puntuals. Aquests reguladors també poden incorporar sistemes que substitueixin als díodes encarregats d'impedir el flux d'electricitat del grup acumulador cap als panells fotovoltaïcs en els moments de foscó amb un cost energètic molt reduït.

També resulta interessant la incorporació de models de regulació que introdueixen models de càrrega en flotació, fet que permet una càrrega més completa de les bateries i un millor aprofitament de l'energia dels panells.

El regulador controla l'estat de la bateria mitjançant la mesura de la tensió dels seus borns . A partir d'aquesta tensió mesurada es desenvolupa el control de càrrega i de



descàrrega, connectant o desconnectant el generador fotovoltaic en funció de les necessitats de la bateria.

Segons com s'efectuï aquesta regulació de càrrega de l'acumulador, els reguladors es poden classificar de la següent manera:

Reguladors MPPT

Les sigles MPPT signifiquen Maximum Power Point Tracking, és a dir, seguidor del punt de potència màxima. Aquest punt al que es fa menció es correspon als valors òptims pel voltatge i la corrent de sortida que proporcionen la màxima potència de sortida. Aquest tipus de control incorpora un limitador de corrent per tal de no sobrepassar la corrent màxima tolerada pel grup acumulador quan la potència d'entrada tingui una pujada momentània. Un regulador MPPT modula el voltatge de les plaques fotovoltaïques i l'adapta a les característiques de les bateries connectades. Són els reguladors emprats avui en dia a gairebé totes les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica. Són més cars que no pas els reguladors convencionals o PWM, però aconseguixen un increment de la producció energètica d'un 30% respecte els seus rivals.



Figura 6. Regulador MPPT.



Reguladors PWM o reguladors convencionals

Són comunament coneguts com els reguladors “tot o res”. Van ser els primers reguladors de càrrega que van aparèixer al mercat, i realitzen un control de la càrrega dels acumuladors mitjançant el sistema “tot o res”, és a dir, mitjançant la commutació d'elements electromagnètics (relés); se'ls podria anomenar també reguladors d'una etapa. Aquest tipus de regulador permet el pas de tot el corrent disponible en el generador d'energia elèctrica fins que la tensió en els borns de la bateria assoleix un valor predeterminat (aproximadament a partir de 14,5 V es considera plena). Arribat aquest valor, s'interromp el pas de corrent. Per valors inferiors als 12 V en els borns de la bateria, es torna a establir el pas de tot el corrent al grup acumulador des dels panells fotovoltaics.

Els controladors de càrrega PWM són menys costosos que no pas els reguladors de càrrega MPPT, i resulten una solució ideal per a sistemes fotovoltaics més petits, on el preu pot ser un punt crític a tenir en compte o en sistemes on obtenir potència addicional o una màxima eficiència de càrrega no són realment una prioritat.



Figura 7. Regulador PWM.

Els reguladors PWM només s'empren en instal·lacions que presenten una potència inferior a 200 W. Per tant, en el nostre cas s'haurà de considerar l'ús de reguladors de càrrega MPPT.



També es poden identificar els reguladors en funció del sistema de commutació respecte la bateria:

Reguladors en sèrie

Incorporen interruptors, ja siguin electromecànics o electrònics, que desconnecten el generador quan la tensió excedeix un determinat nivell de referència. Durant la nit, el circuit de càrrega roman obert, evitant que les bateries es descarreguin en les plaques fotovoltaïques. És el sistema de commutació més emprat en les instal·lacions avui en dia.

Reguladors en paral·lel

S'usen quan l'excés de tensió es controla mitjançant la derivació de corrent a un circuit que dissipa l'energia sobrant. Aquest tipus de reguladors han de dissipar tot el corrent de sortida dels panells solars quan el sistema d'acumulació arriba a un estat de plena càrrega. Es creen pèrdues de potència i es redueix el valor màxim del voltatge de càrrega. Tots aquests fets fan que els reguladors en paral·lel siguin menys eficients que no pas els reguladors en sèrie i, per tant, estiguin pràcticament en desús en noves instal·lacions.

Per tant, el sistema de regulació de càrrega es connectarà en sèrie amb el sistema d'acumulació.

2.5. Distribució i consum

Els inversors estàtics són circuits que produeixen tensió o intensitat alterna a partir d'una font de corrent continu. Els inversors estàtics utilitzen dispositius semiconductors de potència per tal d'efectuar la commutació, els quals funcionen únicament de dues maneres: mode de tall (off) i mode de saturació (on). Per això, el senyal de corrent altern que s'obté és quadrat.

Una senyal quadrada pot convertir-se en sinusoidal mitjançant filtres de potència. El procés de filtratge dels harmònics més propers al fonamental requereixen voluminosos condensadors i bobines que reduiran significativament el rendiment del sistema, així com dispositius de connexió i desconnexió dels mateixos. Per aquest motiu, l'objectiu a tenir en compte en el disseny dels inversors fotovoltaïcs és obtenir senyals de sortida amb l'aparició d'harmònics de petit valor que estiguin el més allunyats possible de



l'harmònic fonamental. Això es pot aconseguir augmentant la freqüència de commutació dels semiconductors i filtrant adequadament el senyal obtingut. Una de les funcions bàsiques que ha de complir qualsevol inversor solar és la de regular el valor de la tensió de sortida. Això s'aconsegueix bàsicament de tres maneres diferents:

- Regulant la tensió abans de l'inversor (convertidors DC/DC)
- Regulant la tensió en el propi inversor mitjançant un sistema de control (variant l'angle de fase, amb un regulador)
- Regulant la sortida de l'inversor (mitjançant un auto-transformador)



Figura 8. Inversor.

Paràmetres fonamentals d'un inversor fotovoltaic

Els paràmetres característics d'un inversor fotovoltaic són:

- **Tensió nominal:** És la tensió que s'ha d'aplicar als terminals d'entrada de l'inversor.
- **Potència nominal:** És la potència que l'inversor solar pot subministrar de manera continuada.



- **Capacitat de sobrecàrrega:** Es refereix a la capacitat de l'inversor per subministrar una potència considerablement superior a la nominal, així com el temps que pot mantenir aquesta situació.
- **Forma d'ona:** En els terminals de sortida de l'inversor apareix un senyal altern caracteritzat principalment per la seva forma d'ona i els seus valors de tensió eficaç i freqüència.
- **Eficiència o rendiment:** Es tracta de la relació entre la potència d'entrada i la potència de sortida en l'inversor. El seu valor depèn de les condicions de càrrega del mateix, és a dir, de la potència total dels aparells de consum alimentats per l'inversor en relació a la seva potència nominal.

Els inversors d'ús fotovoltaic es classifiquen generalment atenent a dos criteris: la seva aplicació i la seva forma d'ona. Més concretament, es pot parlar de dos grups: els inversors fotovoltaics de connexió a la xarxa elèctrica i els inversors fotovoltaics per sistemes de una determinada quantitat de voltatge (12 V, 24V, 48V, etc.) amb sistemes d'acumulació (bateries).

En aquest cas s'analitza amb més detall els inversors per a sistemes fotovoltaics autònoms o aïllats sense entrar en un major detall en els inversors fotovoltaics per a connexió a la xarxa elèctrica, ja que no s'aplicaran en aquest treball. Per tant, els tipus d'inversors fotovoltaics per a sistemes autònoms o aïllats més comuns són els següents:

Entrada de bateria

És el tipus d'inversor més comú, en que l'entrada de l'inversor es connecta únicament i de manera directa a l'acumulador solar. Aquest tipus d'inversors acostumen a disposar de la funció de protecció contra la sobre-descàrrega de la bateria, ja que aquesta connexió directa constitueix una línia de consum no controlada pel regulador.

Entrades de bateria i generador fotovoltaic

Aquest tipus d'inversor inclou un regulador de càrrega intern que possibilita la connexió directa de les plaques fotovoltaïques i fa totalment innecessari l'ús d'un regulador extern.



Entrades de bateria i generador auxiliar

Els inversors d'entrades de bateria i generador auxiliar permeten la connexió directa d'un grup electrògen auxiliar, possibilitant d'aquesta manera la càrrega de les bateries mitjançant una font energètica diferent a la solar (funció de carregador) i l'alimentació directa del consum mitjançant aquest sistema (funció de generador).

Sortida alterna i continua

Finalment, hi ha inversors que disposen de doble sortida, en corrent altern i en corrent continu, dissenyats especialment per la seva utilització en sistemes que precisen aquests dos tipus d'alimentació.

Els inversors poden estar instal·lats de diferents maneres:

Inversors String o de cadena (inversors centralitzats)

La majoria dels sistemes d'energia solar de petita escala empren inversors de cadena, també coneguts com inversors centralitzats. En una instal·lació amb inversors String, cada panell es connecta en sèrie. Quan produeixen energia, s'envia tota a un sol inversor, el qual es troba habitualment en un lateral de l'edifici on es requereix. L'inversor converteix tota l'energia que generen les plaques solars en electricitat que es pot emprar.

Els punts forts d'aquests inversors és que són l'opció més econòmica i una tecnologia molt contrastada. També resulten de manteniment senzill, ja que es troben en llocs fàcilment accessibles. Són ideals per instal·lacions sense obstacles que rebin radiació de manera consistent durant tot el dia.

Els punt dèbil d'aquest tipus d'inversors és que només produirà tanta electricitat com pugui generar el panell solar que menys energia produeixi. La generació d'energia elèctrica en una instal·lació amb un inversor de cadena pateix de l'efecte conegut com a coll d'ampolla i es pot reduir dràsticament si algun dels panells està funcionant en una zona ombrívola o té qualsevol altre problema de funcionament.



Microinversors

Si els inversors en cadena es poden considerar com inversors centralitzats, els Microinversors són considerats com inversors distribuïts. En les instal·lacions amb panells solars fotovoltaics amb microinversors, cada panell solar està dotat d'un petit inversor instal·lat. En lloc d'enviar l'energia des de tots els panells fins a un únic inversor, els sistemes de microinversors converteixen l'energia de corrent continu a corrent altern en la mateixa coberta on es troben els panells solars.

Són més eficients que els inversors String. Les instal·lacions de panells fotovoltaics que estan dotades d'aquesta tecnologia segueixen produint energia fins i tot en el cas que algun panell del sistema tingui un rendiment inferior a la resta. Els microinversors també permeten supervisar el rendiment de panells solars específics, fet que facilita la identificació de problemes de producció (si es donés el cas). Són ideals per a instal·lacions amb panells solars amb diferents orientacions o en el cas que maximitzar la producció d'energia solar en un espai reduït sigui prioritari, així com en el cas que la instal·lació de generació elèctrica estigui ubicada en zones amb possibles ombres o altres elements que dificultin la recepció de radiació solar de manera igual per a tots els panells.

Tot i això, els microinversors suposen una despesa econòmica superior a la d'un inversor centralitzat, i el seu manteniment i reparació són també més dificultosos en cas que hi hagi algun problema, ja que es troben integrats en l'estructura de pèrgoles on hi ha els panells solars.

Optimitzadors de potència

Els optimitzadors de potència poden considerar-se com una alternativa situada a mig camí entre els microinversors i els inversors String o en cadena. De la mateixa manera que els microinversors, els optimitzadors de potència es troben integrats amb els panells fotovoltaics de manera individualitzada. Tot i això, els sistemes amb optimitzadors de potència segueixen enviant l'energia a un inversor centralitzat.

Els optimitzadors d'energia no converteixen l'electricitat de corrent continu en corrent altern en el lloc del panell fotovoltaic. La seva funció és la de condicionar l'electricitat en corrent continu, fixant el voltatge de l'electricitat en el moment en que es enviada a l'inversor fotovoltaic central. Una instal·lació amb generació d'electricitat a través de



plaques fotovoltaïques amb optimitzadors de potència és més eficient que una que només empra inversors centralitzats.

Els beneficis d'aquest tipus d'inversors són, igual que en el cas dels microinversors, que l'eficiència de la instal·lació és més elevada. A més, el cost dels optimitzadors de potència és menor que no pas el dels microinversors. També ofereixen l'avantatge de supervisar el rendiment de cada panell solar individualment, i d'aquesta manera es pot reduir l'efecte que les possibles ombres o els desperfectes de panells concrets puguin tenir en el global de la instal·lació. Són ideals per a clients que puguin estar disposats a pagar una mica més per tal d'augmentar l'eficiència del seu sistema de panells solars però amb un pressupost reduït que no permet de la despesa superior que suposen els microinversors. Tot i això, el seu preu segueix sent més elevat que el dels inversors String o en cadena.



3. Càlcul energètic

En primer lloc cal introduir un concepte fonamental com són les hores de sol pic (HPS). Es poden definir les hores de sol pic com el nombre d'hores diàries en les que es disposa d'una irradiància solar hipotèticament constant de 1000 W/m^2 sobre les plaques solars de la instal·lació. La irradiància solar és la magnitud que descriu la radiació o intensitat d'il·luminació solar que arriba a les plaques solars, mesurada com a potència instantània per unitat de superfície (W/m^2). No s'ha de confondre amb la irradiació, que és la quantitat d'irradiància rebuda en un temps determinat, és a dir, la potència rebuda per unitat de temps i de superfície; s'acostuma a mesurar en Wh/m^2 . Per tant, una hora solar pic (HPS) equival a 1 kW/m^2 , que és el mateix que $3,6 \text{ MJ/m}^2$. Aleshores, per calcular el valor d'hores de sol pic s'ha d'aplicar el quocient entre la irradiació incident i la potència d'irradiància mesurades en condicions estàndard (STC), doncs és en aquestes condicions en les que es compleixen les característiques elèctriques dels mòduls fotovoltaics que proveeixen els fabricants en les seves fitxes tècniques. El valor d'irradiància en condicions estàndard de mesura és de 1000 W/m^2 , és a dir, per tal d'obtenir les HPS s'ha de dividir el valor d'irradiació solar entre 1000. Per exemple, si es té un valor d'irradiació de 4200 Wh/m^2 , les hores de sol pic són 4,2 HPS. Els passos que sempre s'han de seguir per tal de dimensionar correctament un sistema solar fotovoltaic són els següents:

Estimació del consum

En aquest apartat és fonamental aplicar els valors facilitats pel consumidor. A més, per tal d'evitar possibles desviacions en el dimensionament del sistema, han de ser dades fiables i el més realistes possibles. Si la instal·lació ha de ser utilitzada de la mateixa manera durant tot l'any, aleshores s'ha de prendre el valor mitjà de consum anual. En canvi, si l'ús de la instal·lació pretén ser només ocasional en una determinada època de l'any, s'ha d'escollir els valors només de l'època determinada en que es pretén consumir l'energia fotovoltaica.



Dades de la localització on s'implementarà la instal·lació

Existeixen aplicacions gratuïtes a internet que permeten trobar les dades sobre la irradiació solar de que es disposa en una àrea o ciutat determinada. En aquest cas, s'ha optat per l'ús d'una plataforma gratuïta anomenada PVGIS.

Dimensionament del generador fotovoltaic

A través de les dades de consum necessàries i de la irradiació solar disponible, cal dimensionar el generador fotovoltaic, és a dir, saber el nombre de panells solars necessaris per tal de cobrir les necessitats del consumidor.

Dimensionament del sistema d'acumulació

Igual que amb el generador (panells solars fotovoltaics) cal dimensionar correctament l'acumulador, és a dir, les bateries solars. Pel dimensionament d'aquest subsistema és molt important tenir en compte els dies d'autonomia que es vol que tingui la instal·lació. Normalment es té en compte un període d'entre 3 i 5 dies, tot i que es pot ampliar aquest període si es tracta d'una zona amb poca irradiació solar on es pugui donar habitualment un període de temps d'uns quants dies amb molt baixa radiació solar. Pels sistemes més remots aquesta xifra pot augmentar fins als 10 dies d'autonomia.

Dimensionament del regulador i dimensionament de l'inversor

Cal definir també un regulador i un inversor adequats per al sistema definit anteriorment.

En el cas d'una instal·lació d'energia solar fotovoltaica autònoma, és indispensable establir un correcte dimensionament de tots els seus subsistemes definits anteriorment per tal de poder obtenir l'energia elèctrica necessària per abastir el nostre sistema, així com per poder definir la viabilitat econòmica del nostre sistema.



3.1. Càlcul dels consums estimats

Gràcies al director del circuit Parcmotor Castellolí, s'ha pogut obtenir una taula dels consums que presenta el circuit cada mes de l'any. Aquests consums venen determinats a continuació:

Mes	Dies	Consum [kWh/mes]	Consum [kWh/dia]
Gener	31	6.843	220,74
Febrer	28	11.768	420,29
Març	31	12.639	407,71
Abril	30	23.262	775,40
Maig	31	14.798	477,35
Juny	30	7.917	263,90
Juliol	31	9.422	303,94
Agost	31	2.847	91,84
Setembre	30	8.133	271,10
Octubre	31	13.554	437,23
Novembre	30	9.283	309,43
Desembre	31	10.573	341,06
Total	365	131.039	131.039
Mitjana	-	10.920	359,01

Taula 1. Consums del circuit Castellolí durant l'any 2017.

Com es pot observar en la taula anterior, el mes amb un consum més elevat (tan total com diari) és el mes d'Abril (775,4 kWh/h). De fet, el consum en aquest mes és pràcticament el doble que qualsevol altre mes de l'any. Segurament aquest fet es deu a que va haver-hi una demanda excepcional puntual en el circuit, però com aquest tipus de demandes s'ocasionen imprevisiblement, s'haurà de dimensionar el sistema tenint en compte aquest mes. A partir d'ara, aquesta opció de dimensionament del sistema energètic serà anomenada **Opció A**.



Si, en cas contrari, s'emprés la mitjana del consum anual (359,01 kW/h), el consum considerat seria menys de la meitat que el del mes de màxim consum. Aquesta segona opció contemplaria una reducció important en el cost de la instal·lació, ja que s'hauria d'instal·lar menys de la meitat de plaques fotovoltaïques que en l'opció A per tal d'assegurar la demanda i, degut a que l'espai d'aplicació considerat és limitat, segurament és una opció finalment més viable. Aquesta opció serà tractada d'ara en endavant com **Opció B**.

Una altra possible solució seria comptar el mes d'abril com un valor atípic, és a dir, eliminar-lo de la taula i tornar a calcular la mitjana anual, però comptant només 335 dies (sense comptar ni el consum ni els dies del mes d'abril). En aquest cas, el mes amb un consum més elevat seria el mes de maig (477 kW/h), i la mitjana anual baixaria fins a la xifra de 321,72 kW/h. Tot i això, aquesta opció no serà tinguda en compte d'ara en endavant, ja que tot i que la xifra del mes d'Abril és molt desmesurada i poc habitual, és relativament habitual tenir un consum més elevat de l'habitual en algun període de l'any, ja sigui per una concentració d'esdeveniments esportius de gran calibre o una mensualitat amb una quantitat de treball pic. Per tant, és suficientment habitual tenir aquest increment sobtat en algun moment o altre que és intel·ligent contemplar aquest possible succés en les nostres mesures i, per tant, no tindria sentit aplicar aquesta tercera opció.

3.2. Radiació solar disponible

Per tal d'obtenir les dades de la radiació solar que incideix en aquesta localització, es poden emprar taules d'estimacions ja existents. Una bona font d'aquestes estimacions és el programa gratuït d'accés online PVGIS (PhotoVoltaic Geographical Information System – European Commission, Joint Research Center). Des d'aquesta plataforma es poden obtenir dades de radiació solar en tota Europa de manera ràpida i senzilla simplement introduint les coordenades de la localització de la instal·lació. En el cas del circuit de Castellolí, aquestes coordenades són les següents:

Latitud = 41,5913

Longitud = 1,687



JRC **CM SAF** **Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps**

EUROPA > EC > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe

Search: e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

cursor position: 41.696, 1.769
selected position: 41.591, 1.687

Latitude: 41.5913 Longitude: 1.687 Go to lat/lon

Map Satellite

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out!

PV Estimation **Monthly radiation** Daily radiation Stand-alone PV

Monthly global irradiation data

Radiation database: Climate-SAF PVGIS

☐ Horizontal irradiation
☐ Irradiation at opt. angle
☐ Direct normal irradiation
☒ Irradiation at chosen angle: 37 deg.
☐ Linke turbidity
☐ Dif. / global radiation
☒ Optimal inclination angle

Monthly ambient temperature data

☐ Average daytime temperature
☐ Daily average of temperature
☐ Number of heating degree days

Output options

☒ Show graphs
☒ Web page
☐ Show horizon
☐ Text file
☐ PDF

Calculate [help]

Solar radiation Temperature Other maps

Figura 9. Càlcul radiació solar en una localització concreta través de la plataforma online PVGIS.

A través de la plataforma mostrada més amunt es poden adquirir les dades mensuals de radiació, així com les dades diàries, si s'escau. Com encara no es té clar l'angle que formaran els panells fotovoltaics respecte la horitzontal, es prenen diverses mesures en funció de l'angle. Aquest programa permet calcular l'angle òptim d'utilització dels panells solars no només a nivell anual (major obtenció d'energia elèctrica en tot l'any amb un angle concret), sinó que també permet calcular l'angle òptim respecte l'horitzontal en funció de cada mes.

Aquesta variació de l'angle òptim de col·locació de les cel·les respecte l'horitzontal va clarament lligat amb la variació de la posició del sol respecte la terra a través de l'any, ja que en els mesos d'estiu pren una alçada molt més elevada, mentre que en els mesos d'hivern l'alçada màxima que adquireix el sol és molt més propera a l'horitzó.



Aquest fet es pot observar en el gràfic següent:

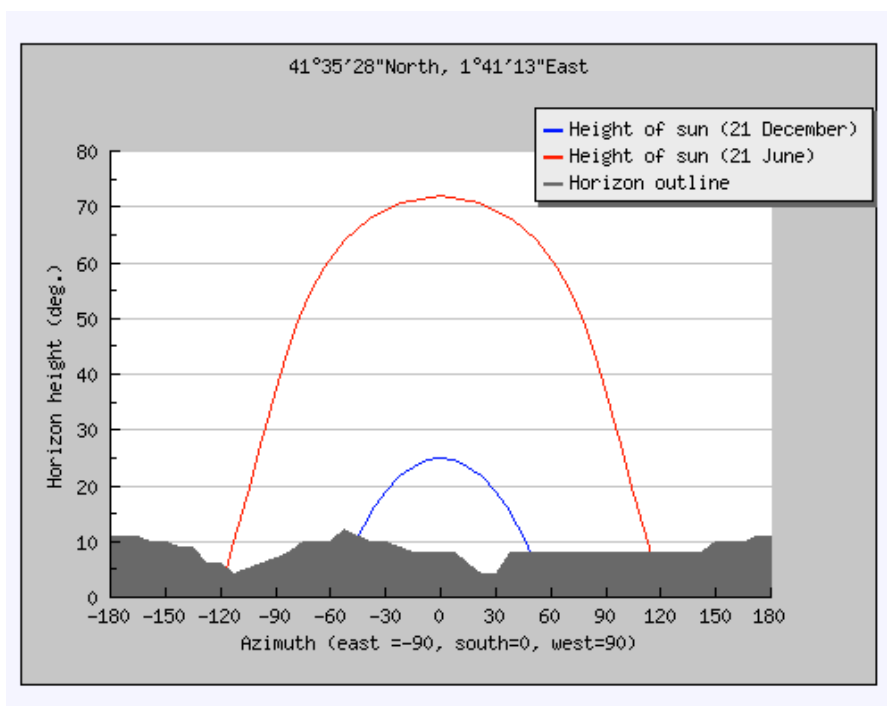


Figura 10. Alçada del sol màxima i mínima respecte l'horitzó.

Per tant, gràcies al programa PVGIS podem contemplar l'angle òptim (I_{opt}) dels panells fotovoltaics en funció de l'etapa de l'any:

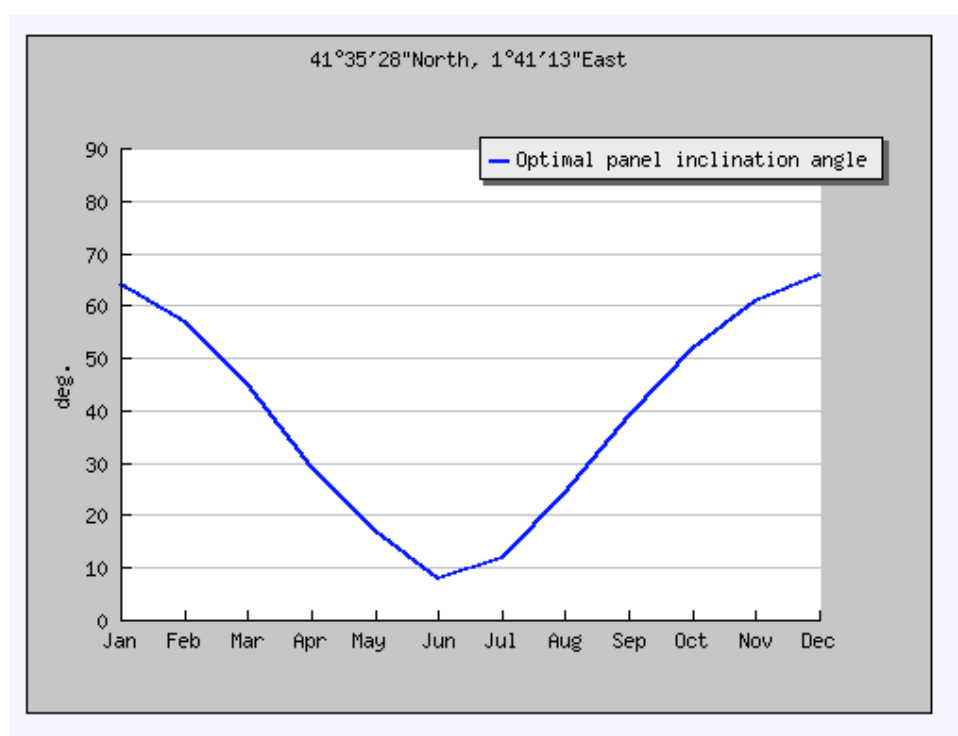


Figura 11. Angle òptim d'inclinació dels panells solars en els diferents mesos de l'any.



Més concretament, aquests angles són:

Mes	I_{opt} [°]
Gener	64
Febrer	57
Març	45
Abril	29
Maig	17
Juny	8
Juliol	12
Agost	24
Setembre	39
Octubre	52
Novembre	61
Desembre	66
Mitjana Anual	37

Taula 2. Angles òptims en funció del mes.

Per tant, la taula d'irradiacions solars en funció de l'angle òptim de cada mes de la placa fotovoltaica és la següent (mesures en $\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$):

Mes	Irradiació [$\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$]
Gener	4060
Febrer	5000
Març	5980
Abril	5830
Maig	6580
Juny	7250
Juliol	7310
Agost	6580
Setembre	5830
Octubre	5110
Novembre	4100
Desembre	3740
Mitjana Anual	5350

Taula 3. Irradiacions solars en funció de l'angle òptim de cada mes.



Com es pot comprovar, els mesos en que l'angle òptim és més baix coincideixen amb els mesos en que hi ha més irradiació, ja que el sol forma un angle més elevat respecte l'horitzó i els angles incideixen més normals a la superfície terrestre que en els mesos d'hivern. De fet, l'angle òptim per atrapar una irradiació solar superior anual és de 37° . Per tant, si l'objectiu d'aquest treball fos produir la màxima energia elèctrica possible, la mesura final d'inclinació dels panells solars seria de 37° (opció B).

El que es vol en aquesta opció plantejada, però, és garantir l'auto-proveïment energètic del circuit Parcmotor de Castellolí (opció A). L'angle en el qual els mesos amb menys irradiació prenen un valor més elevat és precisament quan l'angle dels panells solars forma 66° amb l'horitzontal. En els moments en que serà més difícil garantir l'auto-proveïment energètic (els mesos d'hivern com ara bé novembre, desembre, gener i febrer) aquesta configuració és la que oferirà unes majors xifres de captació de la irradiació solar.

Opció A

Tot i això, encara no es pot decidir amb aquests valors quin serà l'angle adequat de muntatge dels panells solars. Un cop s'obtenen les taules d'irradiacions, es calculen els valors del quocient entre el consum diari i la irradiació ($\text{Cons} / H(I_{\text{opt}})$). D'aquesta manera es podrà observar quins són els mesos crítics en els que és més difícil arribar a cobrir la demanda, i quin angle d'orientació de les cel·les fotovoltaïques respecte l'horitzontal és l'òptim per a aquests mesos. Aquesta taula de valors és la següent:



Mes	I_{opt} [°]	Consum [kWh/dia]	$H(I_{opt})$ [Wh/m ² ·dia]	Cons / $H(I_{opt})$
Gener	64	220,74	4060	54,37
Febrer	57	420,29	5000	84,06
Març	45	407,71	5980	68,18
Abril	29	775,40	5830	133,00
Maig	17	477,35	6580	72,55
Juny	8	263,9	7250	36,40
Juliol	12	303,94	7310	41,58
Agost	24	91,84	6580	13,96
Setembre	39	271,10	5830	46,50
Octubre	52	437,23	5110	85,56
Novembre	61	309,43	4100	75,47
Desembre	66	341,06	3740	91,19
Mitjana Anual	37	359,01	5350	67,10

Taula 4. Consum diari de cada mes entre la irradiació del mes per l'opció A.

Clarament, el mes en el que és més difícil garantir el consum tenint en compte la irradiació mensual a l'àrea de Castellolí segueix sent el mes d'Abril. Aquest fet suposarà que el sistema fotovoltaic que es defineixi a partir d'ara quedarà clarament sobredimensionat per la gran majoria de mesos, a excepció del mes d'Abril.

Una vegada es coneix el mes crític (el mes d'Abril), es divideix la seva irradiació entre la radiació solar incident que s'empra per calibrar els mòduls, és a dir, 1000 Wh/m². D'aquesta manera, s'obtenen les Hores Solars Pic (HSP):

$$HSP = \frac{5830}{1000} = 5,83 [HSP]$$



Opció B

Per altra banda, en aquesta opció s'escullen els valors mitjans anuals, tant pel que fa a l'angle òptim, com el consum. És per això que s'obté a través de la plataforma PVGIS les següents irradiacions:

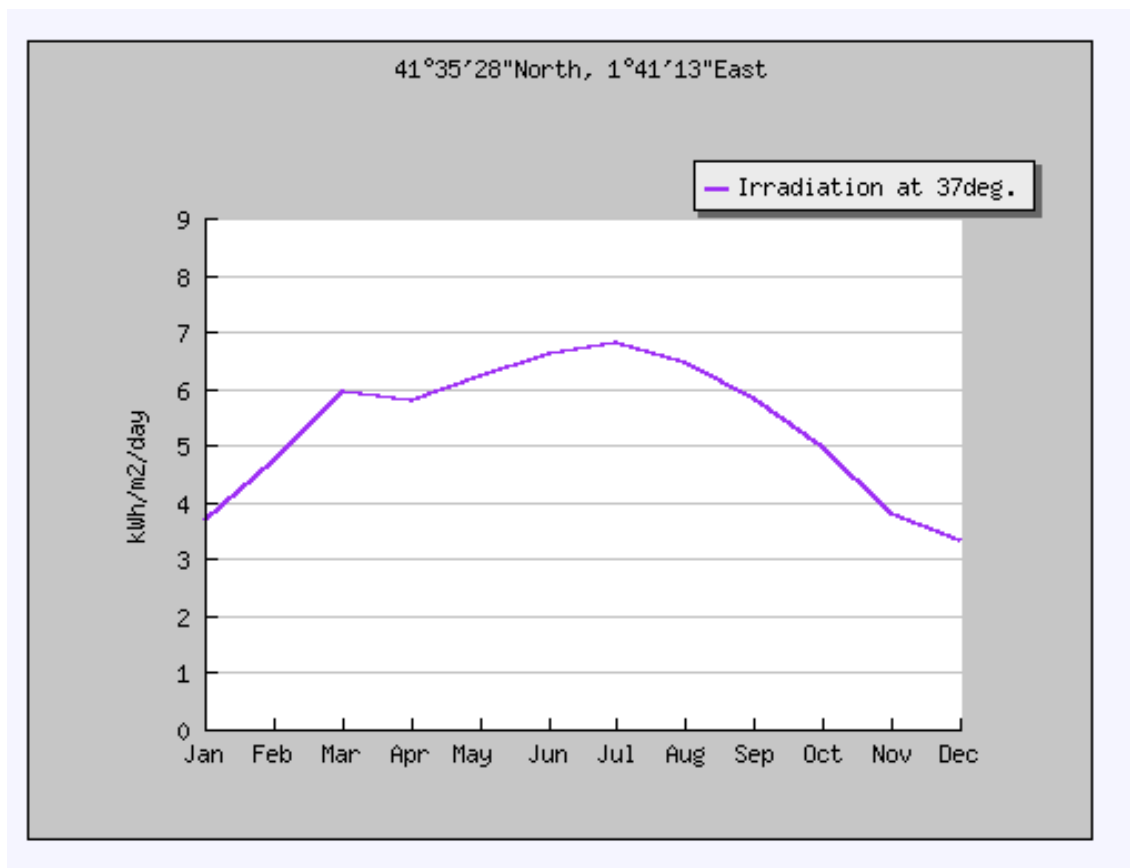


Figura 12. Evolució de la irradiació diària durant l'any.

Si s'ajunten els valors numèrics de les irradiacions amb l'angle òptim anual considerat (37°) i el consum mitjà anual, obtenim la següent taula de valors:



Mes	I_{opt} [°]	Consum [kWh/dia]	$H(I_{opt})$ [Wh/m ² ·dia]	Cons / $H(I_{opt})$
Gener	37	359,01	4060	88,43
Febrer	37	359,01	5000	71,80
Març	37	359,01	5980	60,04
Abril	37	359,01	5830	61,58
Maig	37	359,01	6580	54,56
Juny	37	359,01	7250	49,52
Juliol	37	359,01	7310	49,11
Agost	37	359,01	6580	54,56
Setembre	37	359,01	5830	61,58
Octubre	37	359,01	5110	70,26
Novembre	37	359,01	4100	87,56
Desembre	37	359,01	3740	95,99
Mitjana Anual	37	359,01	5350	67,10

Taula 5. Consum diari de cada mes entre la irradiació del mes per l'opció B.

En aquestes condicions, els mesos més desfavorables són clarament els mesos d'hivern, tal i com era d'esperar. Més concretament, el mes de desembre serà el que presentarà més dificultats alhora de garantir el seu consum elèctric.

Les hores de sol pic que hi haurà durant el mes de desembre són:

$$HSP = \frac{3740}{1000} = 3,74 [HSP]$$



3.3. Dimensionament dels mòduls fotovoltaics

Per tal de calcular el nombre de panells fotovoltaics (mòduls fotovoltaics) que són necessaris en el sistema, cal prendre com a referència el panell solar que es vol emprar.

En aquest cas, es contempla l'ús de mòduls fotovoltaics amb una potència pic de 250 W. La fórmula que s'ha d'aplicar per a aquest càlcul és la següent:

$$Nm = \frac{En}{HSP \cdot \eta t \cdot Ppm}$$

Essent:

En: Energia necessària

HSP: Hores Solars Pic

ηt : rendiment de treball o factor global de funcionament (té en compte les possibles pèrdues produïdes per l'embrutiment o deteriorament dels panells solars).

Ppm: Potència pic del mòdul

Així doncs:

Opció A

$$Nm = \frac{775400}{5,83 \cdot 0,8 \cdot 250} = 665,01 \sim 666 \text{ mòduls}$$

Es requerirà de 666 mòduls fotovoltaics. Com els mòduls escollits són de 250 Wp (Watts pic), la potència total de la instal·lació haurà de ser de 166,5 kW.



Opció B

$$Nm = \frac{359010}{3,74 \cdot 0,8 \cdot 250} = 479,96 \sim 480 \text{ mòduls}$$

En aquest cas seran necessaris molts menys mòduls fotovoltaics que no pas emprant l'altra opció. La potència total de la instal·lació per a l'opció B serà de 120 kW.

Es pot observar que la quantitat de mòduls necessària en ambdós situacions és bastant elevada. Per poder complir amb aquests requisits, s'han tingut en compte les següents àrees del circuit Parcmotor Castellolí:



Figura 13. Àrees susceptibles d'instal·lació de pèrgoles fotovoltaïques.



Les plaques fotovoltaïques tingudes en compte per realitzar el dimensionament tenen una superfície de 2 m^2 . Ja que en un angle respecte el terra de, com a màxim, 37° , es calcula la projecció horitzontal de la seva àrea:

$$\text{Àrea projectada} = \text{Superfície} \cdot \cos(\alpha)$$

Per tant, per l'opció A l'àrea projectada per cada mòdul fotovoltaic és de $1,75 \text{ m}^2$, mentre que per l'opció B aquesta àrea és de $1,60 \text{ m}^2$.

Tenint en compte la superfície terrestre que ocupa cada mòdul fotovoltaic, és convenient calcular l'àrea total del circuit que ocuparan les dues opcions. Un cop realitzat aquest càlcul, també s'haurà de veure si hi ha espai suficient per aquesta activitat o no.

Opció A

$$\text{Superfície ocupada} = \text{Àrea projectada} \cdot Nm = 1,75 \cdot 666 = 1165,5$$

Opció B

$$\text{Superfície ocupada} = \text{Àrea projectada} \cdot Nm = 1,60 \cdot 480 = 768$$

Com per l'opció B es requereixen menys mòduls fotovoltaics que per l'opció A i, a més, cada mòdul fotovoltaic ocupa menys superfície horitzontal (l'angle d'inclinació respecte el terra és major), aleshores l'opció B ocupa clarament molta menys àrea que no pas la primera opció.

Per calcular l'àrea ocupable amb pèrgoles fotovoltaïques del circuit, utilitzem el programa AutoCAD:



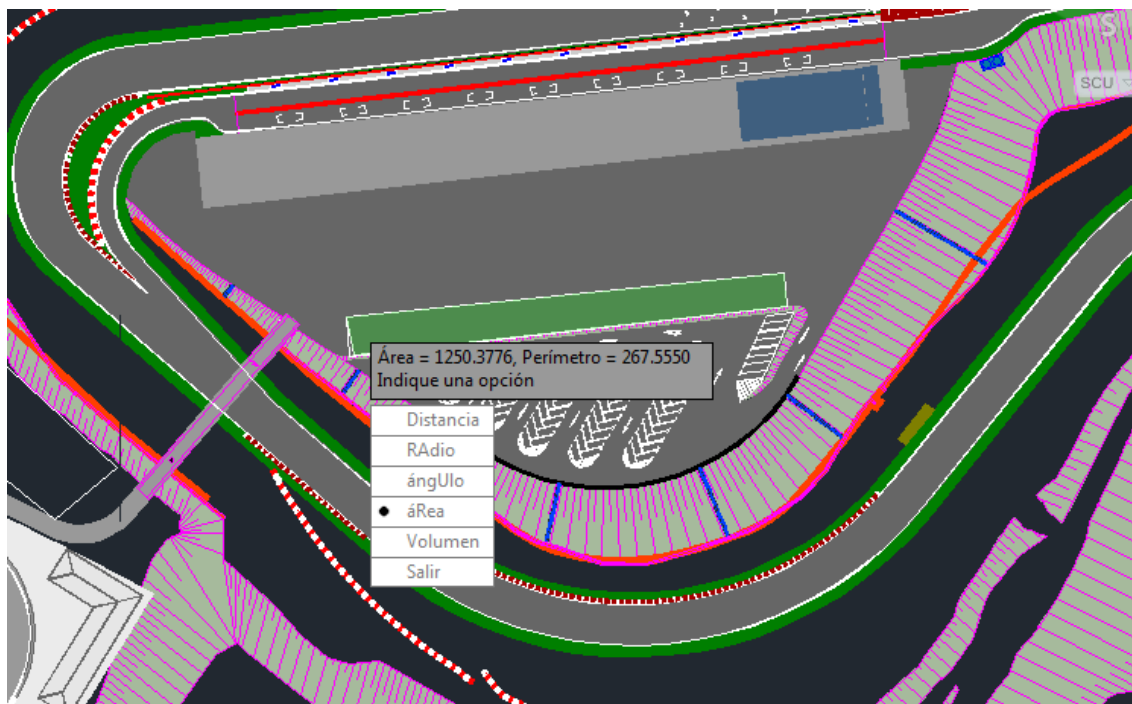


Figura 14. Àrea de l'aparcament principal on es pot instal·lar un sistema fotovoltaic.



Figura 15. Àrea de l'aparcament secundari on es pot instal·lar un sistema fotovoltaic.



Si ajuntem les dues zones ocupables, l'àrea total ocupable per la instal·lació és de 2725 m². Tot i això, aquesta àrea està pensada per ser una zona d'aparcament de vehicles. Per tant, no tot l'espai és ocupable per les pèrgoles fotovoltaïques, ja que es requereix d'una àrea considerable per a que els vehicles puguin circular entre les diverses fileres d'aparcaments. Considerant que l'espai que es requereix per circular i maniobrar amb el cotxe és un 40% de l'espai total, obtenim que l'àrea de possible instal·lació de les pèrgoles és de 1635 m².

Clarament, ambdues opcions compten amb més que suficient espai per a poder seguir sent contemplades.



3.4. Dimensionament de l'acumulador

Per tal de dissenyar la capacitat de les bateries de l'acumulador, inicialment s'ha d'establir quina ha de ser l'autonomia desitjada del sistema, és a dir, quan temps pot estar el sistema funcionant en dies de baixa radiació solar, ja sigui per boira, pluja, neu o qualsevol altre factor meteorològic (o brutícia). S'haurà de decidir la capacitat d'acumulació del sistema:

$$Cac = \frac{En \cdot Autonomia}{V \cdot Prof}$$

Opció A

Com aquesta opció està molt sobredimensionada per la majoria de mesos i serà molt difícil arribar a cobrir la demanda de consum necessària marcada com a objectiu, amb una autonomia de 2 dies hi ha més que suficient en la majoria dels casos.

Per tant:

$$Cac = \frac{775400 \cdot 2}{24 \cdot 0,8} = 8077,8 Ah$$

Per tal que no es produeixi un valor tan elevat d'ampers per hora, s'haurà d'utilitzar una elevada quantitat de bateries. Si la capacitat que presenten les bateries és de 1500 Ah (C100)*, aleshores el nombre de bateries necessàries és de 53,85 (54) bateries.

*El terme C100 indica que la capacitat de la bateria serà la subministrada a través de cicles de càrrega de 100 hores, que és la freqüència de càrrega habitualment normalitzades per aquest tipus d'instal·lacions.



Opció B

$$C_{ac} = \frac{359010 \cdot 2}{24 \cdot 0,8} = 37396,9 \text{ Ah}$$

Si les bateries escollides poden proporcionar 1500 Ah (C100), aleshores el nombre de bateries que faran falta per acumular energia és de 25 bateries:

La selecció del sistema d'acumulació requereix de diverses comprovacions per tal que el sistema duri i tingui un rendiment òptim. Els sistemes d'acumulació necessiten una intensitat mínima de càrrega per tal d'assegurar que les bateries siguin carregades de manera correcta i s'eviti un escurçament innecessari de la seva vida útil.

3.5. Dimensionament del regulador i de l'inversor

Finalment, ja només queda realitzar el càlcul del regulador de càrrega i del convertidor de corrent continu a corrent alterna. Els reguladors de càrrega venen determinats per la seva intensitat màxima de treball i pel voltatge en que s'hagi dissenyat la instal·lació.

La potència del convertidor de corrent continu a corrent altern s'ha d'escollir en funció de les potències nominals dels equips consumidors i del coeficient de simultaneïtat en l'ús d'aquests. Si s'usen molts aparells simultàniament, aleshores el coeficient ha de ser molt elevat. En el nostre cas, prendrem un valor de 0,5 (50% de simultaneïtat).

Tot i això, el circuit no ha pogut facilitar les dades de la seva capacitat de potència total. Per tant, es pren la hipòtesi que l'inversor no serà l'element limitant alhora de dimensionar el sistema fotovoltaic.



3.6. Característiques finals

Després d'analitzar diversos models de panells fotovoltaics i diverses ofertes trobades a la web, s'ha optat pel següent model:



Figura 16. Mòdul fotovoltaic policristal·lí escollit.

Les característiques tècniques del producte són les següents:

Característiques tècniques	
Voc	37,20 V
Vp	30,50 V
Icc	8,79 A
In	8,20 A
Tipus de cel·la	Policristal·lina
Quantitat cel·les	60
Alçada	198 cm
Amplada	99 cm
Gruix	4 cm
Pes	18,5 kg
Rendiment (10 anys)	90%
Rendiment (30 anys)	80%

Taula 6. Característiques tècniques mòdul fotovoltaic.



Els panells escollit es venen en kits de 15 unitats, els quals van acompanyats dels següents elements:

- 15 mòduls fotovoltaics amb les característiques esmentades anteriorment.
- 1 regulador solar MPPT 80 Ah i 150V amb pantalla LCD.
- 2 inversors solars C 48/5000 VA amb carregador 48/5000/70-100
- 24 acumuladors (bateries) C100 1500 Ah.
- 1 Kit de connexió per les bateries (taps, ponts, etc.)
- Cablejat de 70mm per connectar l'inversor i les bateries.
- 40 metres de cablejat solar de 6 mm.
- 1 caixa estanca per connexions de panells.
- 10 connexions MC4 per panells.
- Estructura de pèrgola fotovoltaica per a dos vehicles, d'inclinació variable i 30 m² d'ocupació de plaques.



3.7. Càlcul de la producció anual

Per tal de finalment poder establir quina serà la producció d'energia elèctrica de la nostra instal·lació, s'ha de realitzar el càlcul de la producció anual. Aquest càlcul ve determinat a través del programari d'internet PVGIS.

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it [here](#) and try it out!

PV Estimation | Monthly radiation | Daily radiation | Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: [\[What is this?\]](#)

PV technology:

Installed peak PV power kWp

Estimated system losses [0;100] %

Fixed mounting options:

Mounting position:

Slope [0;90] ° ☐ Optimize slope

Azimuth [-180;180] ° ☐ Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

☐ Vertical axis Slope [0;90] ° ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] ° ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

Horizon file No file selected.

Output options

☒ Show graphs ☐ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

[\[help\]](#)

Figura 17. Estimació de la producció energètica anual.

La irradiació solar ja ha estat calculada anteriorment mitjançant el programa gratuït PVGIS. Com que el càlcul de la radiació és mensual, s'haurà de realitzar un sumatori dels diferents mesos per obtenir la producció anual final d'energia dels panells solars, ja que les hores de sol i la irradiació solar no són constants durant l'any, si no que varien en funció de l'època.

Per altra banda, la potència pic dels mòduls és un factor que ve donat pel fabricant en les característiques tècniques del seu producte i, per tant, no varia. En el nostre cas, aquesta potència pic és de 250 Wp/mòdul.



En funció del nombre de mòduls que s'instal·lin, la potència pic total variarà (no serà igual per l'opció A que per la B):

Opció	Nombre de mòduls	Potència pic total [kWh]	Ppm superficial [kWh/m ²]
A	666	166,5	125
B	480	120	125

Taula 7. Potència pic total per a les dues opcions plantejades.

Així doncs, s'efectua el càlcul de la producció anual d'energia:

Opció A

Tenint en compte que la potència pic dels mòduls i les pèrdues del sistema són constants:

Mes	Hd [kWh/m ² ·dia]	Hm [kW/m ² ·mes]	Ed [kWh/dia]	Ed [kWh/mes]
Gener	3,42	106	458	14.200
Febrer	4,49	126	597	16.700
Març	5,80	180	751	23.300
Abril	5,83	175	740	22.200
Maig	6,45	200	805	24.900
Juny	6,91	207	846	25.400
Juliol	7,07	219	855	26.500
Agost	6,56	203	793	24.600
Setembre	5,76	173	710	21.300
Octubre	4,77	148	603	18.700
Novembre	3,55	106	463	13.900
Desembre	3,08	95,5	408	12.700
Mitjana Anual	5,31	162	670	20.400
Total Anual	1.940 [kWh/m ² ·any]	1.940 [kWh/m ² ·any]	244.000 [kWh/any]	244.000 [kWh/any]

Taula 8. Producció energètica mensual opció A.



On:

Hd: Irradiació solar diària

Hm: Irradiació solar mensual

Ed: Producció d'energia diària

Em: Producció d'energia mensual

La producció anual d'energia supera amb escreix la de la demanda del circuit.

Opció B

Mes	Hd [kWh/m ² ·dia]	Hm [kW/m ² ·mes]	Ed [kWh/dia]	Ed [kWh/mes]
Gener	3,68	114	353	10.900
Febrer	4,74	133	453	12.700
Març	5,94	184	553	17.200
Abril	5,78	173	528	15.800
Maig	6,24	193	561	17.400
Juny	6,60	198	583	17.500
Juliol	6,79	211	592	18.400
Agost	6,44	200	561	17.400
Setembre	5,83	175	517	15.500
Octubre	4,97	154	451	14.000
Novembre	3,78	114	355	10.600
Desembre	3,33	103	317	9.820
Mitjana Anual	5,35	163	486	14.800
Total Anual	1.950 [kWh/m ² ·any]	1.950 [kWh/m ² ·any]	177.000 [kWh/any]	177.000 [kWh/any]

Taula 9. Producció energètica mensual opció B.



En aquesta opció es pot comprovar com també la producció anual d'energia (177.000 kWh) és superior a la demanda anual per part de les instal·lacions del Parcmotor Castellolí (131.039 kWh).

Un cop tenim les dades de producció d'energia, és interessant calcular el PR (Performance Ratio).

El Performance Ratio és un factor que ve determinat per les pèrdues considerades des del panell fotovoltaic fins a l'energia que finalment es pot utilitzar en la instal·lació.

Aquestes pèrdues poden procedir de les següents fonts:

- Mismatch
- Brutícia
- Angulars i espectrals
- Òhmiques corrent continu
- Potència inferior a la nominal
- Ombres
- Òhmiques corrent altern
- Baixa radiació
- Parades
- Altres (dispersió dels panells, errades de funcionament, pèrdues del sistema MPPT de l'inversor, ...)

Es un valor que sol oscil·lar entre el 65% i el 80% (rendiment global de la instal·lació). Per tant, s'acostuma a tenir unes pèrdues energètiques total des de la generació fins al consum d'entre un 20 i un 35%.

$$PR = \frac{Et \cdot G}{Ht \cdot Ppm}$$

Essent:

PR: Performance Ratio

Et: Producció anual [kWh]



Ht: Irradiació mitja anual [kWh/m²]

Ppm: Potència pic mòduls (total) [kWh]

G: Irradiació de referència. S'empra per tal que el factor PR sigui adimensional. G pren el valor de 1 [kWh/m²].

Així doncs, els valors de PR són els següents:

Opció	Et	Ppm	Ht	PR
A	244.000	166,5	1940	0,7554
B	177.000	120	1950	0,7564

Taula 10. Performance ratio per a ambdues opcions plantejades.

Com era d'esperar (ja que es tracta dels mateixos panells solars), el Performance Ratio obtingut és pràcticament idèntic, presentant una variació de tan sols un 0,1% entre ambdues opcions.

En canvi, segons els càlculs duts a terme pel programa PVGIS, les pèrdues totals del sistema en ambdós casos són de 24,1%. Això significa que el PR calculat per aquesta plataforma és del 75,9% (0,7590). Per tant, la diferència entre els càlculs realitzats pel programa i els calculats anteriorment difereixen en menys d'un 1%:

$$Error = \frac{PR2 - PR1}{PR1} \cdot 100 = 0,4766\%$$



4. Estudi Econòmic

El pressupost realitzat per aquest treball està basat en un seguit de consideracions esmentades a continuació:

- Els preus dels diferents elements que s'haurien d'utilitzar a l'hora de dur a terme aquest projecte són els de comercialització i no pas els preus de cost de fabricació.
- S'ha realitzat una estimació aproximada del nombre d'operaris necessaris per a la instal·lació del sistema.
- S'ha considerat també un temps estimat de durada del procés d'instal·lació del sistema fotovoltaic.

4.1. Càlcul TIR i VAN

Tassa interna de retorn (TIR)

Tot i que la TIR és un concepte bàsic en l'economia de les inversions, moltes vegades no és una taxa tinguda en compte alhora de realitzar l'estudi d'un projecte d'enginyeria. La taxa interna de retorn o taxa interna de rendibilitat (TIR) es defineix com la taxa d'interès amb la qual el valor actual net (VAN) és igual a zero. El VAN es calcula a partir del "cash flow" o balanç de caixa anual.

Com major sigui el valor del TIR, major és la rendibilitat del projecte. Per aquest motiu, el TIR s'empra per decidir l'acceptació o no alhora d'invertir en un projecte. Així doncs, el TIR s'analitza com una taxa mínima de tall, el cost d'oportunitat de la inversió. Per tant, si la taxa interna de rendibilitat supera la taxa de tall marcada, s'acceptarà la inversió; en cas contrari, no es prendrà el risc.

Per calcular el TIR s'ha d'aplicar la següent fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$



On:

I_0 : Inversió inicial

F_t : Cash flow en el període t

Igualant el valor actual net a 0, s'obté el TIR del projecte.

Valor Actual Net (VAN)

El Valor Actual Net (VAN) és una mesura de la rendibilitat absoluta neta que proporciona el projecte. Es mesura en el moment inicial l'increment de valor que proporciona passat un temps determinat tenint en compte la inversió inicial que s'ha d'efectuar.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0$$

La taxa i es defineix com la taxa d'oportunitat o taxa de descompte. En el nostre cas, prendrem el valor $i = 0,05$ (5%).

Pels càlculs de la inversió inicial, prenem els següents valors:

Element	Vida útil	Preu unitari (€)	Unitats	Preu total
Kit solar Opció A	30 anys	10.000 €	45 unitats	450.000 €
Kit solar Opció B	30 anys	10.000€	32 unitats	320.000 €

Taula 11. Despeses en lles pèrgoles fotovoltaïques per a cadascuna de les opcions.



Per realitzar la instal·lació de les pèrgoles i els panells solars, prendrem com a hipòtesis l'ús de quatre tècnics especialitzats que treballin durant 1 mes (4 setmanes). Per tant, les hores de feina dels operaris són 160 hores per l'opció A i 115 hores per l'opció B, amb un cost total de 3.200 € i 2.300 € respectivament (20 €/hora).

A través de dades ministerials, prenem el valor del preu del kWh a 0,12159 €/kWh.

Així doncs, si el consum anual de la nostra instal·lació és de 131039 kWh, l'estalvi anual en euros que es produirà en ambdues opcions (ja que el consum anual és el mateix) serà de 15.933,03 € anuals estalviats.

Suposant que la vida útil dels panells solars és de 30 anys i prenent la hipòtesi que el seu rendiment no disminueix a mesura que passa el temps, els valors de TIR i VAN obtinguts per a cadascuna de les dues opcions són els següents:

Opció A

$$TIR = 0 \%$$

$$VAN = -198.352,61 \text{ €}$$

Això significa que la inversió inicial no es recuperaria. És més, al cap de 30 anys encara hi hauria un dèficit de gairebé 200.000 € per cobrir respecte els diners invertits en aquesta solució fotovoltaica.



Opció B

$$TIR = 3 \%$$

$$VAN = -73.685,95 \text{ €}$$

En aquest cas, el TIR és positiu, fet que sembla una bona senyal. Tot i això, el valor que s'havia fixat com a taxa de retorn considerada òptima ha estat del 5% i, per tant, el TIR obtingut és massa baix i no es podria recuperar del tot el capital inicial invertit. Les pèrdues respecte la inversió inicial són de pràcticament 75.000 €, les quals són inferiors que en l'opció A però segueixen sent molt elevades.

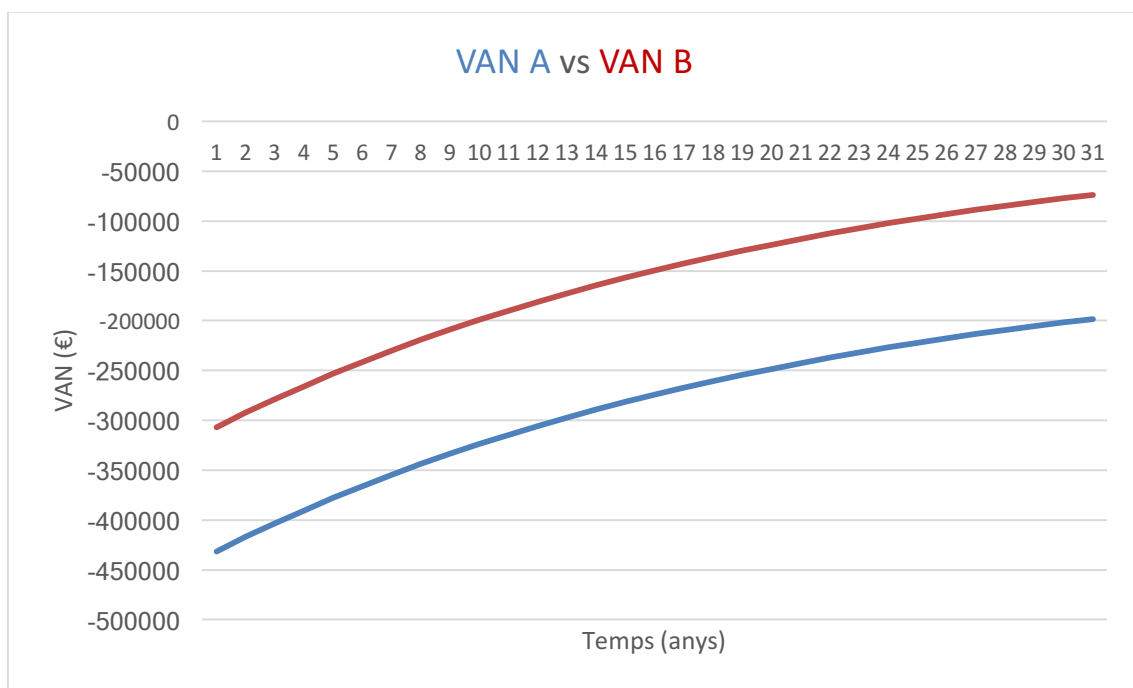


Figura 18. Evolució del VAN per les dues opcions en funció del temps.

Així doncs, per tal de prendre un risc menor reduint la inversió inicial i tenint en compte que no es pot vendre energia a la xarxa elèctrica, l'opció que té més sentit per aquest projecte és l'opció B.



Els problemes que presenten aquestes dues opcions és que tot i tenir una sobreproducció d'energia en determinades èpoques de l'any, aquestes no es poden aprofitar degut a que el sistema és autònom (aïllat), i per tant no es troba connectat a la xarxa elèctrica. Si ho estigués, es permetria la venda d'energia a l'entitat energètica encarregada de la distribució en aquella localitat, i les pèrdues serien menors.

Per aquest cas plantejat, els resultats de les dues opcions són els següents:

	Inversió Inicial	TIR	VAN (i=5%)
Opció A	453.200 €	5%	2.732,63 €
Opció B	322.300 €	5%	8.130,60 €

En aquestes condicions descrites, tots dos TIRs arriben a la xifra de 5% fixada com a projecte rendible, i apareixen les primeres mostres de beneficis al cap del temps.

Tot i això, per a l'opció A el període de retorn de la inversió són 29 anys, mentre que per l'opció B són 28. Això significa que hi hauria pèrdues pràcticament fins al final de la vida útil del producte, i els beneficis obtinguts en ambdós casos són mínims en comparació a la potent inversió inicial que s'ha d'efectuar. Concretament, el benefici al cap de 30 anys no arriba al 1% en l'opció A, mentre que es queda en un 2,5% per a la segona opció.

Això demostra que l'energia solar fotovoltaica encara té molt recorregut de millora i es necessita una reducció dels seus costos abans no es pugui normalitzar com a font principal d'energia per davant de les energies convencionals, com ara els combustibles fòssils.



5. Impacte ambiental

Per tal de poder definir l'impacte ambiental de la planta fotovoltaica del circuit Parcmotor Castellolí, s'ha de mirar a l'impacte que poden tenir cadascun dels seus components per separat. Posteriorment, a més, s'ha de mirar quines emissions s'han evitat gràcies a l'ús d'energies renovables com a font d'electricitat, així com l'estalvi econòmic associat.

La perspectiva econòmica de l'energia fotovoltaica passa per alt un fet fonamental: el baix impacte ambiental d'aquesta tecnologia comparada amb les fonts d'obtenció d'energia tradicionals. Si als costos estàndards d'aquests altres tipus d'energia se li sumessin els costos ambientals derivats i altres costos associats, les diferències econòmiques entre l'energia solar fotovoltaica i les energies convencionals amb obtenció d'energia mitjançant la crema de combustibles fòssil tendeixen a desaparèixer.

La generació d'electricitat mitjançant plaques solars requereix d'una gran utilització de grans superfícies col·lectores i, per tant, d'una quantitat considerable de materials per a la seva construcció. L'extracció, producció i transport d'aquests materials són els processos que suposen un major impacte ambiental associat a aquest tipus d'energia. La fabricació d'un panell fotovoltaic requereix també de materials com l'alumini (pels marcs dels panells), el vidre (com a encapsulant), l'acer (funció estructural), etc., essent aquests components molt comuns en la indústria actual. El progressiu desenvolupament de la tecnologia dels sistemes de fabricació d'aquests materials i dels panells solars suposarà una reducció de l'impacte ambiental degut a aquests conceptes.

En la producció del panell solar, es produeixen despeses energètiques que generen residus, com ara bé partícules de NO_x , SO_2 i CO_2 entre altres. Això es deu a que l'energia emprada en la fabricació del panell solar tingui el seu origen en una mescla de fonts energètiques convencionals del país on s'ha fabricat. De totes maneres, es pot afirmar que les emissions d'aquestes substàncies degut a la fabricació de panells solars és reduïda en comparació amb la disminució en l'emissió de substàncies d'aquest tipus que suposa la producció d'electricitat per mitjans fotovoltaics en



comptes de l'ús de fonts d'energia convencionals. Per exemple, la producció de la mateixa quantitat d'energia anual en una central tèrmica de carbó moderna i eficient suposa l'emissió de 20 vegades més de CO_2 que la mateixa energia produïda mitjançant panells solars de silici policristal·lí o monocristal·lí fabricats en petita escala. La fabricació de silici per a plaques solars a gran escala suposa una reducció de les emissions de CO_2 que pot arribar a ser fins a 200 vegades menor que la d'una central tèrmica de carbó. Aquesta proporció passa a ser d'unes 100 vegades pel que fa referència a les emissions de SO_2 i NO_x comparades amb una central tèrmica de carbó.

L'obtenció de silici de grau metal·lúrgic és requerida en grans quantitats per la indústria de l'acer, essent una petita proporció d'aquest material la dedicada a la fabricació d'obles de silici. L'emissió de pols de silici és un dels principals inconvenients d'aquesta indústria. La purificació del silici implica l'ús de materials com el xilà, mentre que el dopat precisa de petites dosis de components tòxics, com ara el diborà o la fosfina. També es precisa de la utilització d'agents agressius, com per exemple l'àcid sulfúric. Tots aquests compostos i processos s'empren per la indústria metal·lúrgica i electrònica; per tant, no constitueixen un nou factor a considerar.

Pel cas de les cel·les fotovoltaïques de CdS i CdTe, s'estima que es precisen menys de 200kg de compostos de Cadmi per tal de produir 2 MW anuals de cel·les solars d'aquesta tecnologia. A efectes comparatius, s'ha de considerar que la producció mundial de Cd es situa entorn els 20.000 TM; per tant, la producció de plaques fotovoltaïques d'aquests compostos tenen un impacte molt reduït. Com a comparativa, es pot mencionar que les piles de NiCd estan constituïdes per un 15% del seu pes en Cd, mentre que 1 kW de panells solars de tecnologia Apol·lo contindrà 80 g de cadmi en forma de CdTe i CdS (mai cadmi pur), és a dir, menys del seu 0,1% en pes. Al final de la vida útil d'aquests mòduls fotovoltaïcs, es planteja la possibilitat d'abocar-los en dipòsits controlats, ja que segons la normativa dels Estats Units i de la CE, aquests panells estan considerats com a residus no peril·losos. Tot i això, es recomana posar en funcionament els processos de reciclatge ja plenament identificats. Per a les tecnologies de thin film o de cèl·lules CIS el contingut en pes de cadmi és encara menor que en els mòduls de CdTe, reduint el seu contingut en dos ordres de magnitud respecte aquestes.

Altres impactes ambientals d'aquest tipus de font energètica estan relacionats amb les infraestructures necessàries per a la seva operació. Potser el factor més conegut i esgrimit contra l'energia solar fotovoltaica és l'ocupació d'espai per part dels panells



solars no integrats en l'arquitectura. Aquests factors afectes especialment a les grans centrals d'energia fotovoltaica. Des dels moviments ecologistes, s'aposta per un desenvolupament prioritari d'aquest tipus de tecnologies integrades en l'arquitectura i de models senzills, aprofitant les superfícies de teulades, façanes, o sostres de pàrquings ja disponibles. Aquest és el cas de la proposta realitzada en aquest treball. Per tant, l'ocupació d'espai extra per a l'obtenció d'energia elèctrica no seria un factor condicionant a tenir en compte en aquest cas concret.

Finalment, es pot assenyalar l'existència de fonts contaminants relacionades amb la producció de l'energia solar fotovoltaica tot i que no siguin degudes a la producció de panells solars. Aquesta contaminació prové de la fabricació d'equips tals com inversos, reguladors, estructures de suport, cablejat i, especialment, acumuladors. Alguns d'aquests sistemes estan presents necessàriament en totes les instal·lacions de plaques fotovoltaïques, fent així que el seu anàlisi sigui obligatori.

Les bateries de plom-àcid són emprades en vehicles i altres aplicacions industrials, a part de en instal·lacions d'energia solar fotovoltaica (i eòlica). Si no són reciclades de manera correcta, aquestes bateries plantegen un risc tant pel medi ambient com per la salut de les persones. Tot i que en els països desenvolupats les bateries són normalment reciclades de manera correcta, hi ha moltes zones del món on no és així. La contaminació del plom és un problema molt elevat. Hi ha 120 milions de persones a nivell mundial afectades per una elevada exposició al plom^[15].

Comparativa entre energia fotovoltaica i fonts convencionals d'energia

L'impacte mediambiental de les fonts d'energia convencionals inclou factors com els danys forestals per pluja àcida, contaminació i escalfament global degut a l'efecte hivernacle, l'impacte que tenen sobre la salut animal i vegetal degut a accidents nuclears o vessaments i fuga de substàncies perilloses, entre d'altres. El pes global d'aquests costos és molt més elevat en l'obtenció d'energia mitjançant fonts convencionals que mitjançant energies renovables, entre les quals es troba l'energia obtinguda a partir de plaques fotovoltaïques.

Com ja s'ha comentat anteriorment, un dels principals arguments tinguts en compte contra l'energia solar és la quantitat de sòl ocupat per les seves instal·lacions. De totes maneres, aquest argument no és un inconvenient real per a la implementació d'aquest tipus d'energia. La consideració de tots els factors que contribueixen a l'ocupació de sòl (mineria, construccions, etc.) situen a l'energia solar fotovoltaica en un espai



semblant al de les centrals tèrmiques i inclús en millor lloc que algunes de les tecnologies actuals d'obtenció d'energia.

Aquesta crítica apareix en les valoracions interessades que no tenen en compte tots els factors implicats en l'ocupació i destrucció de terrenys per a la producció d'energia per mètodes convencionals. Com exemple per posar en perspectiva la proporció de terreny ocupada per l'energia solar, es pot assenyalar que una planta fotovoltaica ocupa el mateix espai per kWh que l'embassament d'Iguazú (tot i que aquest es tracta d'un dels embassaments més compactes del món, i bastant menys que els embassaments espanyols).

A continuació es presenta la quantitat de terreny ocupat per les instal·lacions de diferents tecnologies energètiques per la producció d'1 GWh d'energia durant 30 anys:

Tecnologia	Espai [m²/GWh]
Carbó	3642
Tèrmica solar	3561
Fotovoltaica	3237
Eòlica	1335
Geotèrmica	404

Taula 12. Terreny ocupat per la producció d'1 GWh durant 30 anys.

Si bé l'energia fotovoltaica precisa d'una quantitat de terrenys superior a altres energies renovable, presenta un estalvi d'espai respecte a les centrals de producció d'energia mitjançant carbó. La degradació del sòl i la contaminació de l'aigua són degudes, en part, per l'ús extensiu d'energies d'origen químic i orgànic. Un major ús d'energies alternatives reduiria aquesta agressió al medi ambient per part de les energies convencionals.

La desertització té el seu origen en la sobreexplotació de la vegetació per satisfer necessitats alimentàries i de combustible en absència d'altres fonts d'energia. Aquesta situació és observable especialment en països en vies de desenvolupament, i es podria disminuir mitjançant l'ús d'energies renovables.

El consum d'aigua necessari per l'operativitat d'una instal·lació fotovoltaica resulta inferior en comparació amb qualsevol altra font de producció energètica (només es precisa d'aigua en els processos de fabricació dels components del sistema, però no



durant la producció d'energia). Aquest punt és particularment important per Catalunya i Espanya, degut al patiment d'alguns períodes amb baix abastiment d'aigua.

Els avenços industrials en la fabricació de panells solars es dirigeix en la direcció de reduir les pèrdues de material degut a la fabricació d'obles. Aquest estalvi de material pot suposar una disminució de l'emissió de contaminants generats durant la fabricació, a més d'un estalvi econòmic. Així mateix, la progressiva fabricació de volums més importants de plaques fotovoltaïques redueix proporcionalment la inversió energètica necessària.

Una nova perspectiva per l'estalvi energètic i de material en la fabricació de panells solars s'obre amb la introducció de plaques fotovoltaïques sense marc d'alumini. Com a conseqüència, s'estan desenvolupant nous conceptes de fixat i d'estructures de suport, com per exemple el plegat de panells solars. L'optimització de les estructures de suport ha de conduir a una reducció de l'ús d'energia i de material en la fabricació dels sistemes fotovoltaïcs.

Finalment, es pot determinar que l'energia solar fotovoltaïca resulta ser molt poc nociva envers el medi ambient durant la fase d'explotació i de producció d'energia, tot el contrari que la majoria de fonts d'energia convencionals i mitjançant combustibles fòssils. Tot i això, durant la fase de fabricació s'ha d'aplicar la corresponent integració de mitjans de control, emmagatzematge i reciclatge de residus en la cadena de producció.

A més, concretament el parc solar fotovoltaïc proposat evitaria l'emissió de 19864 kg de CO₂ a l'atmosfera.



6. Diagrama de Gantt

En aquest apartat es determina el diagrama de Gantt, mostrant l'evolució temporal de la confecció del projecte i una possible fase d'instal·lació de la solució proposada.

Treball Fi de Grau

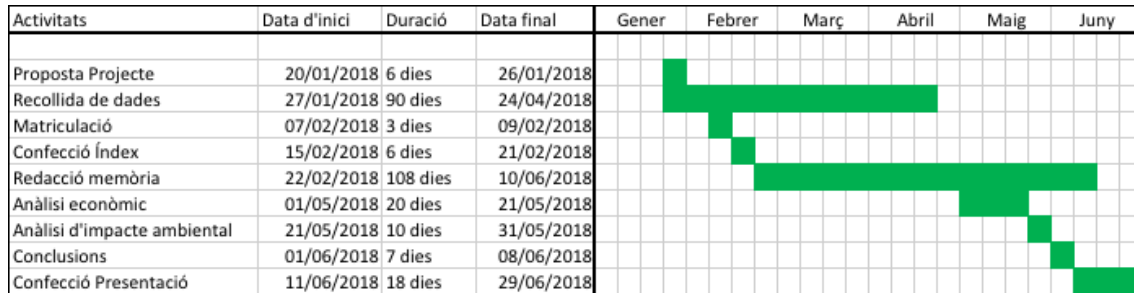


Figura 19. Diagrama de Gantt del TFG.

Realització del projecte

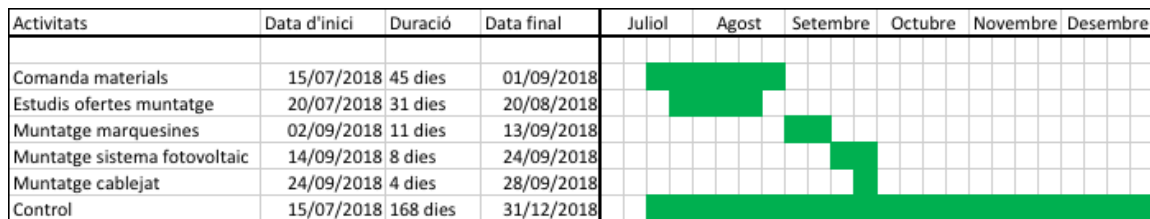


Figura 20. Diagrama de Gantt de la realització del projecte.



7. Conclusions

Durant la realització d'aquest treball, s'han anat recollint un seguit de conclusions.

Primerament, aquest treball ha servit per introduir l'energia solar fotovoltaica, així com els coneixements bàsics de com funciona i quins són els diferents elements que la componen. Degut a la importància que té l'enginyeria en l'àmbit del sector energètic i la generació a partir de fonts renovables, és molt important aprofundir en una de les tecnologies de generació d'electricitat del present i del futur com és l'energia solar fotovoltaica.

Un altre punt d'aprenentatge en la realització d'aquest treball ha estat la diferenciació entre els sistemes fotovoltaics autònoms i els sistemes connectats a la xarxa elèctrica. Mentre que uns permeten cobrir la demanda sense necessitat de cablejat que connecti amb la xarxa estatal, l'altra permet la venda de l'energia sobrant per tal de tenir un benefici econòmic i ajudar en l'amortització de l'equipament utilitzat per a la producció d'energia. A més, no tots els components dels dos sistemes són iguals; per exemple, l'ús d'acumuladors d'energia (bateries) és habitualment exclusiu dels parcs fotovoltaics aïllats.

En quant als panells fotovoltaics, s'ha estudiat diversos materials que tenen diferent pes en la fabricació de plaques fotovoltaiques. Tot i que avui dia les cel·les fabricades a partir de compostos de silici monocristal·lí i policristal·lí, també existeixen altres materials anomenats Thin Film, amb un cost més reduït però també una capacitat de producció d'energia molt menor.

S'ha aprofitat aquest treball per aprofundir en la utilització d'eines indispensables en molts àmbits de l'enginyeria com programaris d'ordinador específics. En aquest cas, s'ha tractat el programa de disseny d'espais per ordinador AutoCAD, el qual no s'utilitza en cap assignatura obligatòria del Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials a l'ETSEIB. Tot i això, és un programa molt interessant i amb un ús molt normalitzats en molts àmbits de l'enginyeria.



L'objectiu principal d'aquest treball consistia en determinar la viabilitat econòmica d'abastir de manera autònoma el consum energètic del circuit Parcmotor de Castellolí, així com proposar una solució. Després d'un detallat anàlisi i un estudi de diverses ofertes, es pot determinar que els sistemes solars autònoms tenen un cost inicial molt elevat i es requereix de molts anys per aconseguir el retorn de la inversió, fins i tot no arribant a cobrir-la del tot en molts casos.

S'ha realitzat un estudi d'impacte ambiental on s'ha pogut concloure que l'energia solar no està exempta de contaminació i d'impacte en el medi ambient, moltes vegades durant el seu procés de fabricació i causant, a més a més, un impacte en el territori, ja que moltes vegades ocupa zones que podrien ser aprofitables per desenvolupar-hi una altra activitat.



8. Accions futures

Més enllà de l'abast que tenia aquest treball, en aquest apartat es presenten les diverses accions futures que s'haurien de seguir si és volgués prosseguir amb aquest projecte.

La principal línia de treball a seguir seria fer un estudi més complert dels diversos dissenys de pèrgoles fotovoltaïques proposades, intentant aconseguir descomptes de fabricants en concret degut a l'elevat nombre d'actius que es pretén obtenir. A més, caldria analitzar si és possible aconseguir algun tipus d'ajuda estatal per implementació d'energies renovables, més concretament d'energia solar.

Una altra interessant línia d'acció seria analitzar l'aplicació d'una capa de Thin Film a la façana principal de la nau industrial per intentar captar més energia a un cost de fabricació més reduït, ja que l'elevat cost d'obtenció dels panells solars és un dels principals problemes amb que s'ha trobat aquest projecte. Per tant, si existeix una tecnologia més barata a base de silici amorf o altres materials, tot i que la vida útil dels materials sigui menor, és una opció a tenir en compte.



9. Agraïments

Mereixen una especial menció i agraïment les següents persones:

- Emilio Hernández, per haver-me engrescat en la realització d'aquest treball i per donar-me l'oportunitat de dur-lo a terme.
- Parcmotor Castellolí, pel bon tracte i les dades facilitades.



10. Bibliografia

Pàgines web consultades

<https://es.wikipedia.org>

<https://www.youtube.com>

<https://www.epa.gov/>

<https://www.accion.com/>

<https://es.wikipedia.org/>

<http://circuitparcmotor.com/>

<https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/>

<https://www.sfe-solar.com/>

<http://www.cubasolar.cu/>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

<http://www.clickrenovables.com/>

<https://soloingenieria.net/>

<https://suelosolar.com/>

<https://www.ecologistasenaccion.org/>

<http://www.circleofblue.org/>

<http://www.labri.fr/>

http://circutor.com/docs/DP_PVing_Parks_SP.pdf

<https://www.aplitech-energy.com/>

<http://et-europa.com/>

<http://www.parkings-castello.com/>

<https://solarstem.com/>



<https://www.merkasol.com/>

<http://www.areatecnologia.com/>

<https://www.ujaen.es/>

<https://sotysolar.es/>

<https://www.sfe-solar.com/>

<http://www.tecnicaindustrial.es/>

<https://www.solarweb.net/>

Referències

[1] : <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia38/HTML/articulo02.htm>

[2]: <https://www.investopedia.com/articles/investing/092815/5-countries-produce-most-solar-energy.asp>

[3]: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia38/HTML/articulo02.htm>

